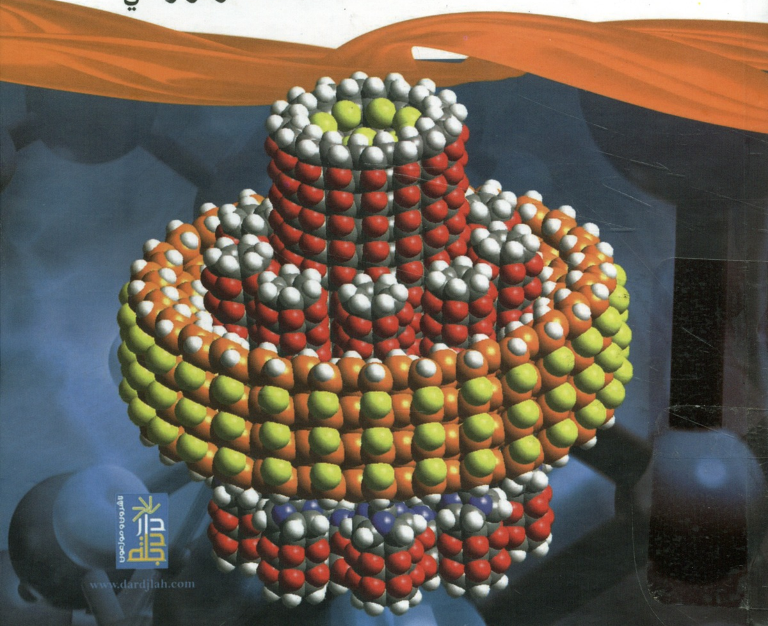
مبادئ تقنية النانو وتطبيقاتها

الاستاذ المساعد الدكتور
محمد مزهر راضي



مبادئ تقنية النانو
وتطبيقاتها

مبادئ تقنية النانو وتطبيقاتها

اعداد الأستاذ المساعد

الدكتور محمد مزهر راضي

كلية التقنيات الصحية والطبية- بغداد

الطبعة الأولى

2014



- **مبادئ تقنية النانو وتطبيقاتها**
- **الدكتور محمد مزهر راضي**

الطبعة الأولى 2014

منشورات:



المملكة الأردنية الهاشمية

عمان- شارع الملك حسين- مجمع الفحيص التجاري

تلفاكس: 0096264647550

خلوي: 00962795265767

ص. ب: 712773 عمان 11171- الأردن

E-mail: dardjlah@ yahoo.com

www.dardjlah.com

❖ رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2013/6/1895)

9957-71-331-7: ISBN

الآراء الموجودة في هذا الكتاب لا تعبر بالضرورة عن رأي الجهة الناشرة

فهرس الموضوعات



فهرس الاشكال

المقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿وَمَا أُوتِيتُم مِّنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا﴾ (الإسراء: 85)

صدق الله العلي العظيم

تعد تقنية النانو من التقنيات الحديثة والتي مازالت تحتاج إلي الكثير من الدراسات والأبحاث. ويمكن أن نطلق علي العصر القادم عصر النانو. وسوف يكون لهذه التقنية تأثير كبير في كثير من مجالات الحياة مثل الطب والطاقة والزراعة والنقل والطيران وأبحاث الفضاء والدفاع. ونحن الان في بداية القرن الحادي والعشرين وقد بانت في الافق بوادر التقدم في هذا العلم الحديث الذي طالما تحدثت البحوث العلمية والتي لم توفي قطرة من بحر من تشعبات وتطبيقاته في حياتنا اليومية. ان تكنولوجيا النانو اصبحت حديث الساعة في جميع الاوساط الثقافية والعامة وتحتاج الى منهل ترتشف منه لمعرفة ولو الشيء المبدئي منه لتكون بالصورة وتواكب ما يحصل من تقدم في هذا الكوكب الذي نعيش عليه. لذا ارتئيت من الوازع الاخلاقي ووفاءا للعلم ان نوصل ولو الجزء اليسير من هذا العلم والمتوفر في الارشيف الذي تم اقتباسه منها وبعض البحوث التي تم ترجمتها الى اللغة العربية للوصول الى الهدف المنشود خدمة للعلم. فاني اقدم هذا العمل المتواضع بين يدي قارئنا العزيز وبالخصوص طلبتنا الاعزاء وهواة العلم ليكون شمعة تنير درب الباحث عن الحقيقة العلمية وبعض خفاياه الغامضة من خلال هذه الصفحات من كتاب "مباديء تقنية النانو وتطبيقاتها".

ان الانسان منذ ان وجد على سطح هذا الكوكب وهو يبحث في اسرارها ويقوم بالتجارب والبحوث من اجل الوصول الى ماهو يسهل العيش ويذلل الصعوبات للحصول على مصادر العيش من غذاء وطاقة واليوم نجد انفسنا امام باب مفتوح على مصراعيه يذلل جميع المشاكل ولاول مرة في مراحل حياة البشرية الذي توصل الى مفتاح الفرج ان صح القول في هذا العلم المكنون والذي صرح به تعالى في محكم كتابه العزيز حيث ان احدى الطرق التي تناولها سيدنا نبي الله داود (عليه السلام) في التعامل مع تقنية النانو عندما استعمل الحديد من النوع النانو الذي يلين بملامسته درجة حرارة الجسم من خلال الاية الكريمة (10) من سورة سبأ (والنا له الحديد.........). ولا نستغرب من ان الكتب السماوية ولاسيما الكتاب المنزل على رسوله الكريم محمد (صلى الله عليه وسلم) قد تطرق الى جميع المشاكل العلمية وحلولها باستخدام البحث عن الحقائق بالطرق العلمية، وهذا العلم جزء من الاف العلوم المكتشفة والمخفية على الانسان لحد الان وما يحتاجه الا الى التفكر والتبصر للوصول الى الحقيقة.

يتضمن الكتاب بفصوله الخمسة الى التعرف على مباديء هذا العلم الحديث ونبذة عن تاريخه والاستدلالت العلمية عن كنه وحقيقة المعرفة به اما الفصل الثاني يبحث عن جميع التطبيقات المتوفرة حاليا في جميع مجالات الحياة والتي حصلت عليها من المصادر المتوفرة في هذا الموضوع وقد تم التركيز على المجالات الطبية لما لها من أهمية قصوى والفصل الثالث الذي يبحث عن الطرق المختلفة لتحضير المركبات النانوية والفصل الرابع ذكرت فيها أهم الاجهزة الحديثة المستخدمة في تشخيص المركبات النانوية اما الفصل الخامس والذي خصصناه لموضوع مهم وهو كيفية التعامل مع هذا العلم الجديد ومحاسنه

ومساؤه وما ينتج عنه من مخاطر وكيفية التعامل به لحداثته وما يجهله الباحث في هذا العلم الحديث.

وفي ختام حديثي لابد من ابداء الشكر الجزيل لكل من مد يد المساعدة في انجاز هذا العمل لعلي اوفق في اداءه على احسن مايرام والحمد لله اولا واخرا والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته....

الاستاذ مساعد الدكتور

محمد مزهر راضي

بغداد- مايو ايار 2012



الفصل الاول

مقدمة في مباديء تقنية النانو



الفصل الاول
مقدمة في مباديء تقنية النانو

تقنية النانو (Nanotechnology):

هي العلم الذي يهتم بدراسة معالجة المادة على المقياس الذري والجزيئي. تهتم تقنية النانو بابتكار تقنيات ووسائل جديدة تقاس أبعادها بالنانومتر وهو جزء من الألف من الميكرومتر أي جزء من المليون من المليمتر. عادة تتعامل تقنية النانو مع قياسات بين 0.1 إلى 100 نانومتر أي تتعامل مع تجمعات ذرية تتراوح بين خمس ذرات إلى ألف ذرة. وهي أبعاد أقل كثيرا من أبعاد البكتيريا والخلية الحية. حتى الآن لا تختص هذه التقنية بعلم الأحياء بل تهتم بخواص المواد، وتتنوع مجالاتها بشكل واسع من أشباه الموصلات إلى طرق حديثة تماما معتمدة على التجميع الذاتي الجزيئي. هذا التحديد بالقياس يقابله اتساع في طبيعة المواد المستخدمة، فتقنية النانو تتعامل مع أي ظواهر أو بنايات على مستوى النانوالصغير. مثل هذه الظواهر النانوية يمكن أن تتضمن تقييد كمي (quantum confinement) التي تؤدي إلى ظواهر كهرومغناطيسية وبصرية جديدة للمادة التي يبلغ حجمها بين حجم الجزيء وحجم المادة الصلبة المرئي. تتضمن الظواهر النانوية أيضا تأثير جيبس- تومسون- وهو انخفاض درجة انصهار مادة ما عندما يصبح قياسها نانويا، اما عن بنيات النانو فأهمها أنابيب النانوالكربونية.

ويمكن تعريف تقنية النانو بأنها تطبيق علمي يتولى إنتاج الأشياء عبر تجميعها على المستوي الصغير من مكوناتها الأساسية، مثل الذرة والجزيئات. وما دامت كل المواد المكونة من ذرات مرتصفة وفق تركيب معين، فإننا نستطيع

أن نستبدل ذرة عنصر ونرصف بدلها ذرة لعنصر آخر، وهكذا نستطيع صنع شيء جديد ومن أي شيء تقريبا. وأحيانا تفاجئنا تلك المواد بخصائص جديدة لم نكن نعرفها من قبل، مما يفتح مجالات جديدة لاستخدامها وتسخيرها لفائدة الإنسان، كما حدث قبل ذلك باكتشاف الترانزيستور. وتكمن صعوبة تقنية النانو في مدى إمكانية السيطرة على الذرات بعد تجزئة المواد المتكونة منها. فهي تحتاج بالتالي إلى أجهزة دقيقة جدا من جهة حجمها ومقاييسها وطرق رؤية الجزيئات تحت الفحص. كما أن صعوبة التوصل إلى قياس دقيق عند الوصول إلى مستوى الذرة يعد صعوبة أخرى تواجه هذا العلم الجديد الناشئ. بالإضافة ما يزال هناك جدل ومخاوف من تأثيرات تقنية النانو، وضرورة ضبطها.

علوم النانو وتقنية النانو:

إحدى مجالات علوم المواد واتصالات هذه العلوم مع الفيزياء، الهندسة الميكانيكية والهندسة الحيوية والهندسة الكيميائية تشكل تفرعات واختصاصات فرعية متعددة ضمن هذه العلوم وجميعها يتعلق ببحث خواص المادة على هذا المستوى الصغير.

أصل مصطلح التكنولوجيا النانوية أو النانوتكنولوجي

تم إدخال مصطلح التكنولوجيا النانوية لأول مرة عام 1974 وذلك من قبل الباحث الياباني نوريو تانيغوشي عندما حاول بهذا المصطلح التعبير عن وسائل وطرق تصنيع وعمليات تشغيل عناصر ميكانيكية وكهربائية بدقة ميكروية عالية. أما البوابة إلى عالم الذرات فقد تم فتحها عام 1982 عن طريق الباحثين السويسريين جيرد بينيغ وهاينريش رورير، حيث قاما بتطوير

الميكروسكوب الأكثر دقة من أجل مراقبة الذرات وإمكانية التأثير بها وإزاحتها وبعدإنجازهما المشترك بأربع سنوات 1986 حصلا على جائزة نوبل. في عام 1991اكتشف الباحث الياباني سوميو ليجيما الأنابيب النانوية المؤلفة فقط من شبكة من الذرات الكربونية وبالقياس تم الحصول على مقاومة شد أعلى من مقاومة شد الفولاذ بعشرة مرات وأكثر قساوة واستقراراً من الماس بمرتين على الأقل. إن الطلب على المنتجات النانوية آخذاً بالازدياد والنمو، ففي عام 2001 بلغ معدل الإنفاق العالمي على المجال النانوي حوالي 54 مليار يورو،هذا وتشير التوقعات بأن هذا المبلغ سوف يتضاعف أربعة مرات حتى عام 2010.

جيريمي .J رامسدن من قسم المواد المتقدمة، جامعة كرانفيلد، بيدفوردشير، المملكة المتحدة كان أول من استخدم مصطلح تكنولوجيا النانو في عام 1974 من قبل الراحل نوريو تانيغوشي (جامعة طوكيو) للإشارة إلى القدرة على هندسة المواد على وجه التحديد في نطاق نانومتر .وفي العادة ما تؤخذ مواد مهندس لتشمل التصميم characteriza حقيقة معناها الحالي وقد تم في الوقت الحاضر نشوئها، وإنتاج وتطبيق المواد، واتسع نطاق وتشمل أجهزة وأنظمة وليس فقط المواد. وهكذا يتم تعريف تكنولوجيا النانو كما تم تصميم وتصنيع الأجهزة والمواد ونظم مع التحكم في أبعاد نانومتر. جوهر تكنولوجيا النانو وبالتالي حجم والسيطرة عليها. بسبب تنوع ويفضل التطبيقات، وهذا المصطلح بصيغة الجمع "التكنولوجيا النانوية" من قبل بعض، ومع ذلك، وأنهم جميعا تقاسم سمة مشتركة في السيطرة على مقياس متناهي الصغر.

ما هو النانو

يعني مصطلح نانو الجزء من المليار؛ فالنانومتر هو واحد على المليار من

المتر ولكي نتخيل صغر النانو متر نذكر ما يلي؛ تبلغ سماكة الشعرة الواحدة للإنسان 50 ميكرومترا أي 50,000 نانو متر، وأصغر الأشياء التي يمكن للإنسان رؤيتها بالعين المجردة يبلغ عرضها حوالي 10,000 نانو متر، وعندما تصطف عشر ذرات من الهيدروجين فإن طولها يبلغ نانو مترا واحدا فيا له من شيء دقيق للغاية.

قد يكون من المفيد أن نذكر التعاريف التالية:

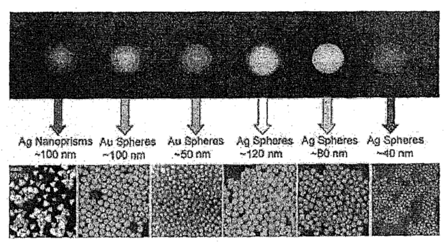
- **مقياس النانو**: يشمل الأبعاد التي يبلغ طولها نانومترا واحدا إلى غاية الـ100 نانو متر.
- **علم النانو**: هو دراسة خواص الجزيئات والمركبات التي لا يتجاوز مقاييسها الـ100 نانو متر.
- **تقنية النانو**: هو تطبيق لهذه العلوم وهندستها لإنتاج مخترعات مفيدة.

الشيء الفريد في مقياس النانو (Nano Scale) هو أن معظم الخصائص الأساسية للمواد والآلات كالتوصيلية الحرارية أو الكهربائية، والصلابة ونقطة الانصهار تعتمد على الحجم (size dependant) بشكل لا مثيل له في أي مقياس آخر أكبر من النانو، فعلى سبيل المثال السلك أو الموصل النانوي الحجم لا يتبع بالضرورة قانون أوم الذي تربط معادلته التيار والجهد والمقاومة، فهو يعتمد على مبدأ تدفق الالكترونات في السلك كما تتدفق المياه في النهر؛ فالإلكترونات لا تستطيع المرور عبر سلك يبلغ عرضه ذرة واحدة بأن تمر عبره إلكترونا بعد الآخر. إن أخذ مقياس الحجم بالاعتبار بالإضافة إلى المبادئ الأساسية للكيمياء والفيزياء والكهرباء هو المفتاح إلى فهم علم النانو الواسع. أحيانا يتم التمييز بين تكنولوجيا النانو والعلوم الدقيقة، وهذا الأخير مع التركيز

على مراقبة ودراسة الظواهر على مقياس متناهي الصغر، وسبل التلاعب في هذه المسألة في هذا النطاق، في كثير من الخصائص التي تختلف عن تلك المسألة مألوفة في نطاقات أوسع. هذا التمييز ليس من أهمية كبيرة، ولكن: لسوف يضطرون إلى مراقبة ودراسة ومعالجة هذه المسألة في سياق عمله.

ضآلة متناهية

لنتخيل شيئا في متناول أيدينا على سبيل المثال مكعب من الذهب طول ضلعه متر واحد ولنقطعه بأداة ما طولا وعرضا وارتفاعا سيكون لدينا ثمانية مكعبات طول ضلع الواحد منها 50 سنتيمترا، وبمقارنة هذه المكعبات بالمكعب الأصلي نجد أنها ستحمل جميع خصائصه كاللون الأصفر اللامع والنعومة وجودة التوصيل ودرجة الانصهار وغيرها من الخصائص ماعدا القيمة النقدية بالطبع، ثم سنقوم بقطع واحد من هذه المكعبات إلى ثمانية مكعبات أخرى، وسيصبح طول ضلع الواحد منها 25 سنتيمترا وستحمل نفس الخصائص بالطبع، وسنقوم بتكرار هذه العملية عدة مرات وسيصغر المقياس في كل مرة من السنتيمتر إلى المليمتر وصولا إلى الميكرومتر. وبالاستعانة بمكبر مجهري وأداة قطع دقيقة سنجد أن الخواص ستبقى كما هي عليه وهذا واقع مجرب في الحياة العملية، فخصائص المادة على مقياس الميكرومتر فأكبر لا تعتمد على الحجم. عندما نستمر بالقطع سنصل إلى ما أسميناه سابقا مقياس النانو، عند هذا الحجم ستتغير جميع خصائص المادة كلياً بما في ذلك الخصائص الكيميائية؛ وسبب هذا التغير يعود إلى طبيعة التفاعلات بين الذرات المكونة لعنصر الذهب، ففي الحجم الكبير من الذهب لا توجد هذه التفاعلات في الغالب، ونستنتج من ذلك أن الذهب ذو الحجم النانوي سيقوم بعمل مغاير عن الذهب ذي الحجم الكبير.



شكل (1) تغير لون محلول جسيمات النانو الذهبية وكذلك محلول جسيمات النانو الفضية وذلك تبعا لتغيير احجام واشكال هذه الجسيمات

تاريخ تقنية النانو

كشفت أبحاث ماريان ريبولد وزملائها في جامعة درسدن الألمانية الغطاء عن سر السيف الدمشقي المشهور بقدرته الكبيرة على القطع ومتانته المذهلة ومرونته الكبيرة، فقد تبين لها أنه مصنوع من مواد مركبة بمقياس النانومتر، فأنابيب الكربون النانوية التي تعتبر من أقوى المواد المعروفة وذات المرونة ومقاومة الشد المرتفعة، أحاطت بالأسلاك النانوية من السمنتيت (FeC_3) وهو مركب قاس وقصف.

منذ آلاف السنين قصد البشر استخدام تقنية النانو. فعلى سبيل المثال أستخدم في صناعة الصلب والمطاط. كلها تمت اعتمادا على خصائص مجموعات ذرية نانوميترية في تشكيلات عشوائية. وتتميز عن الكيمياء في أنها لا تعتمد على الخواص الفردية للجزيئات.. الأولى إلى بعض المفاهيم المميزة في النانو تقنية. في عام 1867 العالم جيمس ماكسويل عندما اقترحت فكرة تجربة صغيرة كيان يعرف ماكسويل للشيطان من معالجة الجزيئات الفردية. في عام 1920 أدخل

ارفنغ لانجميور وكاثرين بلودغيت مفهوم نظام monolayer أي طبقة ذرية واحدة أو طبقة مادة يبلغ سمكها مقاييس الذرة. وحصل لانجميور على جائزة نوبل في الكيمياء لعمله.

لماذا تم استخدام النانوتكنولوجي؟

ولعلك تسأل ما هو الدافع الذي دفع العلماء في شتى المجالات إلى دراسة النانوتكنولوجي؟

أولا: إن هناك قاعدة فيزيائية تثبت أن هناك علاقة بين حجم الجسم وسرعته (أي أنه كلما قل حجم الجسم كلما زادت سرعته) وبالتالي تزداد قوة اختراقه للإجسام الأخرى.

ثانيا: صغر حجم هذه الجزيئات يجعلها شبه شفافة، لا ترى بالعين المجردة مما يتيح المجال إلى دراسة الأجسام المجاورة لهذه الوحدات المتناهية في الصغر بكل سهولة.

ثالثا: يتيح صغر حجم النانومتر إلى استخدامه في تطبيقات متعددة. وذلك لأنه كلما صغر حجم الجسيم كلما كان الإنسان قادرًا على تشكيله كما يشاء.

ولنضرب مثالا في هذه النقطة: وهو أن ذرة الكربون هي المشكل الأساسي للماس حيث يتكون الماس من سلسلة هندسية معينة من ذرات الكربون. وكذلك فإن الكربون هو المشكل الأساسي للفحم أيضًا ولكن بترتيب ذري مختلف عن ترتيب ذرات الكربون. وبالتالي فإنه باستخدام تقنيات النانو تكنولوجي يمكن تحويل الفحم إلى الماس بكل سهولة عن طريق تغيير ترتيب ذرات الكربون. ربما يبدو ذلك خارق للطبيعة، إلا أن هذا ما يمكن أن يحدث بالفعل بواسطة مجال النانوتكنولوجي.

نظرة تاريخية

عام 1974: أدخل العالم الياباني نوريو تانيجوشي مصطلح النانو لأول مرة في تاريخ البشرية حيث عبر عنه للقيام بعمليات وتركيبات عالية الدقة.

في عام 1982: طور العالمان السويسريان جيرد بينيج، وهاينربش روربر أدق ميكروسكوب يساعد في مراقبة الذرات، والتأثير عليها وإزاحتها من أماكنها.

في عام 1986: حصل العالمان السويسريان على جائزة نوبل.

في عام 1991: تم اكتشاف الأنابيب النانومترية من قبل العالم الياباني سوميو ليجيما، والتي وفرت مقاومة شد أعلى من مقاومة الفولاذ.

وبعد ذلك تم الإهتمام بالمنتجات والأبحاث النانومترية من قبل العالم كله، فالكل يتسابق من أجل تطوير النانو واستغلاله في المزيد من التطبيقات حتى وصل إجمالي الإنفاق العالمي على البحث في مجال النانوتكنولوجي ما يزيد على 54 مليار يورو عام 2001، ويتوقع أن يتضاعف هذا الإنفاق باستمرار.

ويعتبر النانوتكنولوجي هو الجيل الخامس في مجال الالكترونيات وذلك بعد أربعة أجيال متطورة وهي بالترتيب: المصباح الالكتروني (الجيل الأول)، الترانزستور (الجيل الثاني)، الذرات الالكترونية (الجيل الثالث)، والمايكروترانزستور (الجيل الرابع). وقد أحدث كل جيل من هذه الأجيال السابق ذكرها طفرة جديدة في عالم الانسانية بوجه عام في شتى مجالاتها المختلفة. ولذلك يمكننا أن نقول أن النانو تكنولوجي سيحدث طفرات هائلة بالفعل كما فعلت هذه الأجيال الأربعة.

الفصل الثاني

تطبيقات تقنية النانو

الفصل الثاني
تطبيقات تقنية النانو

قائمة تطبيقات تقنية النانو تعد تطبيقات تقنية النانو واسعة المجال وتدخل في الكثير من المجالات الصناعية والعسكرية والطبية والزراعية وغيرها، على سبيل المثال ان مجموعة كبيرة من المواد الخام يتم تحسينها على إحداث تغيير في الخصائص الفيزيائية للأحجام الصغيرة أو النانوية. وتستفيد الجزيئات النانوية على سبيل المثال من الزيادة البينة في مسحة السطح إلى نسبة الحجم. ومن ثم تصبح خواصها البصرية ومنها الفلورية وظيفة لقطر الجسيم. وعندما يتم دمجها في مادة كتلية، فإن الجزيئات النانوية تؤثر بشدة على الخواص الميكانيكية للمادة، ومنها الصلابة أو الليونة. وعلى سبيل المثال يمكن تدعيم المكاثير أو البوليمرات التقليدية من خلال استخدام الجزيئات النانوية الموجودة بالمواد الجديدة والتي قد تستخدم كبدائل خفيفة الوزن للمعادن. نتيجةً لذلك يمكن توقع زيادة الفائدة الاجتماعية للجسيمات النانوية. وستُمَكن تلك المواد المدعمة نانوياً من تقليص الوزن المصاحب بزيادة في الثبات وتحسن في الوظيفية. هذا بالإضافة إلى أن تقانة النانو العملية تمثل بصورةٍ ضروريةٍ القدرة المتزايدة على التعامل بدقة مع المادة وفقاً للمقاييس المستحيلة مسبقاً، موفرةً بذلك مجموعةً من الإمكانات والتي لم يكن للآخرين مسبقاً تخيلها- ولذلك فمن غير المدهش أن مساحاتٍ قليلةٍ من التقانة البشرية استُثنت من الفوائد الناجمة عن استخدام وتطبيق تقانة النانو.

(1) التطبيقات الطبية لتقنية النانو

استفادت الجماعات البحثية الحيوية والطبية الخصائص الفريدة من المواد النانوية المرتبطة بالتطبيقات المختلفة (ومثلاً عوامل التباين لتصوير الخلية

وعلاجات السرطان). ومن ثم فقد بدأ استخدام مصطلحاتٍ ومنها التقنية النانوية البيوطبية والتقنية النانوية الحيوية وطب النانو بهدف وصف ذلك المجال الواسع. كما يمكن إضافة الوظائف للمواد النانوية من خلال تواصلها وتفاعلها مع غالبية الجزيئات والتركيبات الحيوية. ويعد حجم المواد النانوية متماثل مع حجم غالبية الجزيئات والتركيبات الحيوية؛ ومن ثم قد تعد المواد النانوية مفيدةً لمجالي الأبحاث والتطبيقات الحيوية والصناعية. وقد أسفر دمج وتكامل المواد النانوية مع الأحياء عن تنمية الأجهزة التشخيصية، عوامل التباين، الأدوات التحليلية، تطبيقات العلاج الطبيعي وأدوات توصيل الدواء.

التشخيص

تعد تقانة النانو على رقاقة أحد الأبعاد الإضافية لتقنية مختبر على رقاقة. حيث تستخدم الجزيئات النانوية والمرتبطة بالجسم المضاد الملائم من أجل تصنيف بعض الجزيئات والجسيمات المحددة والكائنات الدقيقة. كما يمكن استخدام جزيئات الذهب النانوية والموسومة بالشرائح القصيرة للحمض النووي بهدف التعرف على التسلسل الجيني لعينةٍ ما. وتسفر عملية تضمين النقاط الكمومية مختلفة الحجم داخل الكريات البوليمرية الدقيقة عن وقوع ترميز متعدد الألوان للفحوصات الحيوية. وتحوّل تقانة المسام النانوية الخاصة بتحليل الأحماض النووية سلاسل النيوكليوتيدات مباشرةً إلى توقيعاتٍ إليكترونيةٍ.

توصيل الدواء

تعد تقانة الصغائر ضرباً من الازدهار والتقدم في المجال الطبي مع إمكانية توصيل الدواء إلى خلايا محددةٍ باستخدام الجزيئات النانوية. ويمكن تقليص عملية الاستهلاك الكلية للدواء بالإضافة إلى الأعراض الجانبية بشكلٍ واضحٍ

من خلال إيداع العامل النشط في المنطقة المريضة فقط وبدون أية جرعاتٍ أعلى مما هو مطلوب. حيث يقلل هذا الأسلوب الانتقائي من التكلفة والمعاناة البشرية كذلك. ويمكن التعرف على أحد تلك الأمثلة في المواد النانوية المسامية. ومثالاً آخراً من خلال استخدام بوليمرات الكتلة المشتركة، والتي تشكل مركب ميسليس (micelles) المستخدم في تغليف الدواء. والتي تستخدم في الحفاظ على جزيئات الدواء الصغيرة للمساعدة في انتقالها إلى وجهتها المقصودة. هذا بالإضافة إلى وجود رؤية أخرى مبنية على الأنظمة الإلكتروميكانيكية الصغيرة؛ حيث تم البحث في مجال النظم الكهروميكانيكية النانوية والتي تعد الجيل الأصغر من النظم الكهروميكانيكية الصغرى لغرض الإطلاق النشط للأدوية. وتتضمن بعض التطبيقات الهامة في المجال علاج السرطان باستخدام جزيئات الحديد النانوية أو دروع الذهب. ويقلل الدواء المستهدف أو الشخصي من عملية استهلاك الدواء ونفقات العلاج كذلك مما يسفر عن تحقيق فائدةٍ اجتماعيةٍ شاملةٍ من خلال تقليص التكلفة لنظام رعاية الصحية العامة. كما تفتح تقانة الصغائر فرصاً جديدةً في أنظمة توصيل الدواء القابلة للزرع، والتي غالباً ما يفضل استخدامها مع الأدوية المحقونة، نتيجة أن الأخيرة غالباً ما تستعرض حركاتٍ من الدرجة الأولى (حيث يرتفع تركيز الدم بسرعة، ولكنه ينخفض بشكلٍ ضعيفٍ مع مرور الزمن). وقد يسبب الارتفاع السريع ذلك صعوباتٍ مع السمية وكفاءة الدواء قد تتلاشى نتيجة انخفاض تركيز الدواء عن المعدل المطلوب له.

هندسة الأنسجة

تساعد تقانة الصغائر في إعادة إنتاج وإصلاح النسيج التالف. وتستفيد تقانة "هندسة الأنسجة" من عملية انتشار الخلايا المحفز صناعياً من خلال استخدام

عوامل النمو والسقالات القائمة على المواد النانوية المناسبة. وقد تحل تقانة هندسة النسيج محل أساليب العلاج التقليدية المستخدمة في يومنا هذا ومنها زراعة الأعضاء أو الأطراف الصناعية. وقد تسفر الأنماط المتقدمة من تقانة هندسة الأنسجة عن إطالة الحياة.

وقد لا تتوافر للمرضى الذين يعانون من فشل تام في وظيفة الأعضاء خلايا صحية كافية لعمليات التوسع والزراعة في نسيج خارج الخلية. وفي هذه الحاجة يصبح هناك حاجة إلى الخلايا الجزعية ذات القوة التناسلية المتعددة. وأحد المصادر المحتملة تلك الخلايا يتمثل في الخلايا الجزعية المستحثة ذات القوة التناسلية العالية؛ وهي تتمثل في خلايا عادية من جسد المريض والتي تم برمجتها لتصبح ذات قدرة تناسلية متعددة، بالإضافة إلى توفر مزايا تجنب لفظ (الرفض) جسد المريض لها (والمضاعفات المهددة لحياة المريض من جرّاء استخدام العلاجات المثبطة للمناعة). وتعد الأجنة أحد المصادر المحتملة الأخرى للخلايا الجزعية ذات القدرة التناسلية المتعددة، إلا أن لذلك المصدر عيبين واضحين يتمثلان في:

1) تتطلب حل مشكلة الاستنساخ، والتي تعد فنياً صعبةً جداً (و خصوصاً في حالة تجنب التشوهات).

2) تتطلب تلك العملية حصاد اللأجنة. ونتيجة أن المرء منا لم يكن في بداية حياته سوى جنين، فإن ذلك المصدر يعد موضع إشكالات أخلاقية.

الكيمياء والبيئة

تلعب تقانة الصغائر دوراً واضحاً في كلٍ من عمليتي التحفيز الكيميائي وأساليب الترشيح. حيث توفر المركبات مواداً جديدةً ذات خصائص صممة

وسمات كيميائية محددة: وعلى سبيل المثال؛ الجزيئات النانوية ذات البيئة الكيميائية المحيطة المميزة (ليجاندز)، أو الخصائص البصرية الخاصة. وذلك بمعنى أن الكيمياء تعد أحد العلوم النانوية الرئيسية. ومن أحد التوقعات قصيرة المدى في المجال نستطيع أن نقول أن الكيمياء ستوفر "مواداً نانويةً جديدةً، اما على المدى البعيد، فإن العمليات الأرقى ومنها عملية 'التجميع الذاتي' ستدعم من خطط واستراتيجيات تزفير الطاقة والوقت. بمعنى أن كل التركيبات الكيميائية يمكن فهمها من خلال مفردات تقانة الصغائر، نتيجة قدرتها على تصنيع جزيئات محددة. ومن ثم، تشكل الكيمياء قاعدةً أساسيةً لتقانة النانو والتي توفر الجزيئات المصممة خصيصاً، والمكوثرات أو البوليمرات بالإضافة إلى العناقيد والجسيمات النانوية.

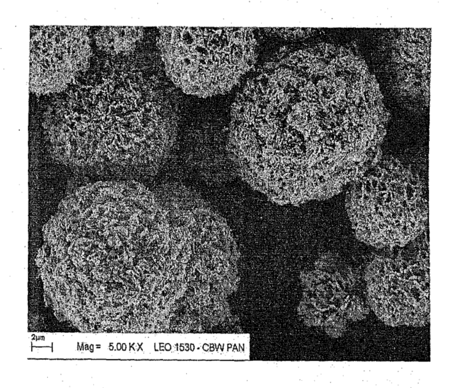
استخدامات النانوتكنولوجي في المجال الطبي

يعتبر الطب من العلوم التي حدث فيها طفرات متعددة بعد اكتشاف النانو، وذلك بسبب التطبيقات المتعددة التي تطورت بعد ذلك للوقوف بجانب المرضى لتحقيق الكثير من العمليات التشخيصية والعلاجية لهم باستخدام تقنيات النانو. ونتناول فيما يلي بعض تطبيقات النانو الطبية:

1. مسحوق النانو (NANOPOWDER)

هي مركبات نانومترية يبلغ قطرها اقل من 100 نانوميتر، وتتخذ المركبات التي يتم تحويلها إلى هذه الصورة عدة مميزات من أهمها أنها تكون أكثر مقاومة للتآكل وأكثر صلابة، ويمكن لهذه المركبات أن توصل الالكترونات والأيونات والمجال الكهربي أفضل من الفلزات العادية. وتتخذ هذه المركبات قوة مغناطيسية فائقة أيضًا بالإضافة إلى الكثيرمن المميزات الفيزيائية الأخرى. وقد استفاد الطب

كثيرًا من مسحوق النانو؛ وذلك في تصنيع الأدوية المستنشـقة (Inhaled Drugs) حيث أن المركبات الميكومترية يمكن أن تترسب على جدران الحويصلات الهوائية بالرئة ويؤدي ذلك عادة إلى الكثير من المضاعفات والآثار الجانبيـة لتناولهـا، أمـا باستخدام مسحوق النانو فقد تم التغلب على هذه المشاكل نهائيًا لتصبح الأدوية المستنشقة اقل خطورة على المريض.

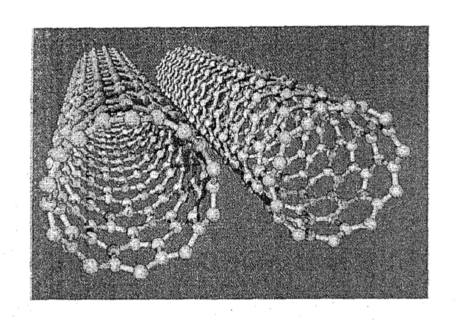


شكل (2) جزيئات مسحوق النانو

2. الأنابيب النانومترية (NANOTUBES)

هي عبارة عن مركبات نانومترية أخرى تتكـون مـن ذرات الكربـون الـتي تأخذ شكلا أنبوبيًا يساعدها على التميز والتفوق في كثير من الخصائص الفيزيائية حيث حصل العلماء منها على مقاومة أشد من مقاومـة الفـولاذ بعشـر مـرات،

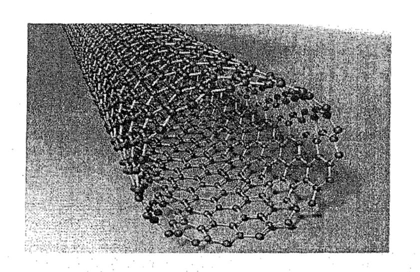
وأشد صلابة من الماس بمرتين على الأقل. ويبلغ قطر هذه الأنابيب عدة نانومترات، أما طولها فقد يصل إلى عدة ميكرومترات.



شكل (3) تركيب الانابيب النانوية

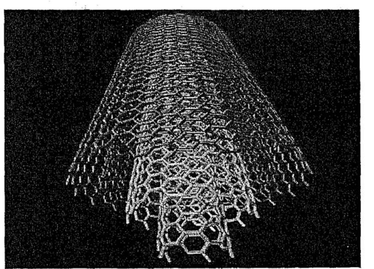
وقد تم استخدام الأنابيب النانومترية في الكثير من التطبيقات الطبية وغير الطبية. وتعتبر من أكثر تطبيقات النانوتكنولوجي استخدامًا في مختلف العلوم. وفي الطب تم استخدام نوعين من أنواع الأنابيب النانومترية هما:

1. الأنابيب النانومترية وحيدة الجدار (Single-walled nanotubes): وهي تتكون من طبقة واحدة من ذرات الكربون تأخذ شكل الأسطوانة.



شكل (4) الانابيب النانوية وحيدة الجدار

2. الأنابيب النانومترية متعددة الجدران (Multiple-walled nanotubes) والتي تشبه وحيدة الجدار ظاهرياً إلا إنها تتخذ عدة طبقات مركزية فوق بعضها. ويمكن لهذا النوع الذوبان في الماء.



شكل (5) الانابيب النانوية متعددة الجدران

ومن مميزات الأنابيب النانومترية أنها تقاوم قوى الشد والجذب

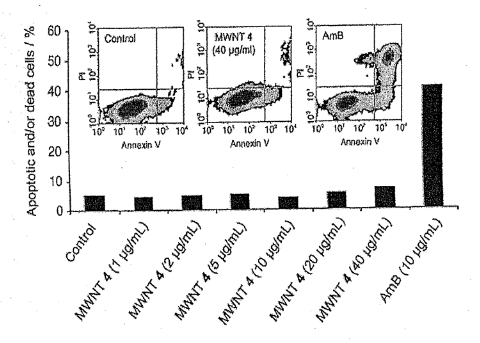
الكبيرة. ويتميز النوعان السابقان بميزة أخرى مهمة وهي أنهما لا يذوبان في جميع المركبات العضوية المختلفة إلا بطريقتين: الأولى هي اضافة حمض قوي جدًا، والثانية هي إضافة مجموعات عضوية عاملة (مثل مجموعة الأمونيوم مثلا) والتي تعطي هذه الأنابيب القدرة على الذوبان في خلايا معينة. وقد اعتمد الطب الحديث على هذه الميزة حيث يمكن تزويد الأنابيب النانومترية بمستقبلات معينة تساعد في ذوبانها في خلايا بعينها في الجسم. ومن تطبيقات الأنابيب النانومترية ما يلي:

أ. توصيل الأدوية والعقاقير بواسطة الأنابيب النانومترية

وتعتبر هذه الأبحاث من أهم الأبحاث التي يعتمد عليها الباحثون وذلك من أجل توصيل المركبات الدوائية إلى خلايا معينة. ولكن مازالت هناك بعض العقبات التي تواجه الباحثين في هذا المجال وهي صعوبة وجود مستقبلات في خلايا معينة لا توجد في خلايا نسيج آخر، كما أن هناك توقعات بازدياد حالات التسمم من الكربون عند استخدام الأنابيب النانومترية. ومع ذلك فإن العلماء يؤكدون أنه خلال الأعوام القليلة المقبلة سوف يتم التغلب على هذه العوائق وستكون الأنابيب النانومترية هي المركبات الأولى لحمل العقاقير إلى مختلف أنسجة الجسم وذلك لتوافر عدة شروط بها تجعلها هي المثلى لهذا الغرض ومنها قدرتها على تخطي الحواجز الطبيعية في الجسم، وقدرتها على تخطي الغشاء الخلوي بسبب صغر حجمها، كما أن الأنابيب متعددة الجدران يمكنها الذوبان في السيتوبلازم والنواة بكل سهولة مما يتيح لها فرصة توصيل العقاقير إلى هذه الأماكن دون ضرر بالغ.

وقد استخدمت هذه المركبات بالفعل في تطبيق عملي على هذه النظرية

وهي توصيل المضاد الحيوي أمفوسيترين بي (Amphoceterin B) والـذي كـان يستخدم قديما في علاج حـالات الإصـابة بالفطريـات (إلا أنـه لم يعـد يسـتخدم لذلك وذلك لأنه يتسبب في أضرار بالغة للخلايا التي يصل إليها فيسـبب تـدمير معظمها). أما باستخدام الأنابيب النانومترية فقد تم الحصول علـى نتـائج مبهـرة بواسطة ذلك الدواء. وتمثل الصورة التالية نتائج هذه التجربة.



شكل (6) نتائج التجربة السابق ذكرها توضح أن نسبة الموت للخلايا البشرية تقل كثيرًا عندما يتم إضافة الأمفوسيترين بي إلى الأنابيب النانومترية

ب. الأنابيب النانومترية في العلاج بالجينات

وتستخدم الأنابيب النانومترية لذلك بسبب قدرتها البالغة في تخطي العقبـة الكبرى التي تواجه الطرق العادية وهي الغشاء النووي، حيث أصـبح بالإمكـان توصيل الجينات المختلفة إلى داخل النواة دون إحداث إصابات بالغـة في الخليـة. وكلنـا يعـرف أن الطريقـة المثلـى الـتي تسـتخدم حاليًـا في هـذا الغـرض هـي

الفيروسات الحاملة (Viral Vectors) إلا أن العلماء يعتقدون أنه باستخدام الأنابيب النانومترية سوف تقل بشدة الآثار الجانبية للفيروسات الحاملة والتي قد تنشط الجهاز المناعي للجسم فيحدث بذلك التهابات جسيمة. وقد تم استخدام هذه النظريات في عدة دراسات ووجد أن هذه الطريقة تتمتع بمزايا كثيرة ومتنوعة منها قلة حدوث التسممات، الذوبان في أنوية الخلايا المختلفة، والقدرة على تخزينها لفترات طويلة دون أن تتأثر.

كانت هذه بعض استخدامات الأنابيب الناومترية في مجال الطب، وهناك الكثير من الإستخدامات الطبية الأخرى التي لا يتسع المجال لذكرها.

3. الأجهزة الحيوية النانومترية (Biological Nano devices)

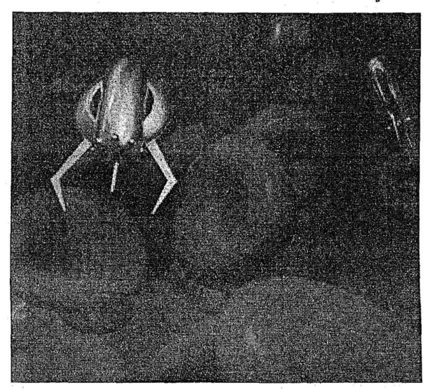
تعتمد فكرة هذه الأجهزة على إعادة بناء المركبات النانومترية لتكوين مركبات جديدة تساعد في التطور الطبي. وهذه المركبات إذا كان قطرها أصغر من 100 نانومتر فإنه بإمكانها أن تدخل إلى الخلايا الحيوانية المختلف (التي يبلغ قطرها 10: 20 ألف نانومتر) وبالتالي يمكنها الوصول إلى مختلف العضيات الخلوية مثل الميتكوندريا حيث تتعامل مع الحمض النووي محدثة التغييرات المطلوبة.

ويمكننا باستخدام هذه المركبات تشخيص أمراض كثيرة في الخلايا بطرق أقل عنفاً من الطرق الحالية.

4. الحوامل النانومترية وعلاج السرطان

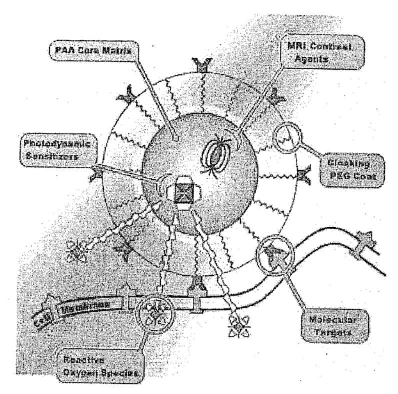
يعتمد الباحثون الآن للحكم على الأدوية والعقاقير التي تستخدم في العلاج الكيميائي لهذا المرض اللعين على مدى كفاءة الدواء في الوصول إلى

هدفه بداخل الخلية التي يجب الوصول إليها، وكـذلك علـى مـدى قدرتـه علـى إختيـار هدفـه بكـل دقـة. ولـذلك يتجـه العلمـاء حاليـاً إلى البحـث في مجـال النانوتكنولوجي لتكون حاملة إلى هذه الأدوية.



شكل(7) صورة توضح شكل الحوامل النانومترية

ويعتبر هذا الموضوع من أهم الإنجازات الطبية الحديثة والتي توصـل إليهـا العالم المصري الجليل دكتور مصطفى السيد. وبهذا الإكتشاف العظـيم تم ادخـال كميات كبيرة نسبيًا من ذرات الذهب الى الخلايا بكفاءة عالية للوصول الى هدفها المحدد.



شكل (8) الحوامل النانومترية ومهاجمة الخلايا السرطانية

غبار ذهب النانو سلاح ضد السرطان وإذابته

قصف نانوي للسرطان

تم استعمال هذه التقنية في تحويل رقائق الذهب إلى «غبار» نانوي يمكنه المساهمة في علاج الأورام الخبيث حيث تفقد مادة الذهب خواصها حين يجري تفتيتها إلى غبار نانوي. وتُصبح مادة مُحفّزة تتفاعل مع خلايا السرطان. ويؤدي ذلك إلى حدوث وميض في هذه الخلايا، يُلاحظ تحت المجهر بسهولة. فيما يتجنّب غبار الذهب الخلايا السليمة، فتبدو داكنة تحت المجهر. ويتجمع غبار الذهب النانوي ليشكل طبقة مضيئة على خلايا السرطان، فتبيدها خلال دقائق. وإذا تجمّع هذا الغبار في خلية سليمة، فإنه يتفتت من دون إحداث تأثير سلبي.

نستطيع وصف هذا بالقول بأن غبار الذهب النانوي «يتعرّف» إلى خلايا الورم الخبيث، لكنه «لا يرى» الخلايا السليمة. وتمتصّ مادة نانو الذهب، ضوء الليزر عند تسليطه عليها بعد وصولها إلى الخلية السرطانية، فتُحوّل الليزر حرارة تستطيع أن «تذيب» خلايا الأورام الخبيثة.

أنه في مقياس الـ«نانو» تعادل شعرة الإنسان 50 ألف نانو. ويبيّن أن تكنولوجيا نانو الذهب لا تحتاج إلى تجهيزات ضخمة، كتلك المستعملة في الطب المرتكز على التكنولوجيا النووية. ويمكن استخدام نانو الذهب داخل المختبر عبر تقنيات وأجهزة بسيطة، سواء بالنسبة لتشخيص السرطان أم علاجه. ورأى بعض العلماء أيضاً أن علاج الورم الخبيث بـ «نانو» الذهب أقل كلفة. وأضاف: يستطيع غرام من الذهب أن يعالج ألف مصاب بالسرطان.

ويتوقّع بان تطبيق تقنية نانو الذهب على الإنسان في غضون سنوات قليلة، اشارةً إلى نجاح في علاج السرطان أثناء التجارب على الحيوانات، وبصورة مذهلة.

ومن الملفت للنظر إلى أن القيود الصارمة على التجارب العلمية على البشر في الولايات المتحدة، تحول دون الإسراع في اجرائها على المصابين بالسرطان إلا بعد التأكد من صحتها وسلامتها في شكل كامل. ومن المؤمل بأن يؤدي علاج السرطان بجزيئات نانو الذهب إلى المساهمة في إعطاء أمل جديد للمصابين بالأورام الخبيثة الذين يصل عددهم إلى 75 مليوناً في 2030، وفق توقّعات منظمة الصحة العالمية.

ومن المشار اليه أن الذهب لا يتفاعل مع الهواء، وحين تحوله إلى جزيئات من حجم النانو، يميل لونه إلى الأخضر. وتقدر هذه الجزيئات الدقيقة، التي

تـتراوح أحجامهـا بـين 20 و30 نـانومتراً، علـى الوصـول للخلايـا السـرطانية والقضاء عليها. ويمكن شرح طريقة عمل مركبات الذهب الخُضر ضد السرطان، بأن خلية السرطان تنتج بروتينات أكثر مـن الخليـة العادية، وتتراكـم الجزئيـات الخُضر على الخلايا السرطانية وتدخل فيها. وبعدها، يُسلّط ضوء خاص عليهـا، فتصبح ظاهرة للطبيب المعالج. وكذلك تعمل تلك الجزئيات علـى تركيـز أشـعة الضوء والحرارة المتولدة عنها، علـى الخلايـا السـرطانية، ممـا يـؤدي إلى تـدميرها بنسبة 100 في المئة. وان الضوء المستخدم في ذلك العلاج هو أشـعة ليـزر خفيفـة جداً، تُسلّط لـ 10 دقائق كي تمتصه جزيئات الـذهب فتنتقـل حرارتـه إلى الخليـة وتقضي عليها. ويمكن للجسم أن يتخلص من جزيئات الـذهب الأخضـر في 15 ساعة، لكنها قد تظل في الكبد أو الطحال لقرابة الشهر.

أن جزيئات الذهب تعمل على وقف تكـاثر خلايـا الـورم الخبيـث، كمـا تعمل على إعادة اندماج الخلايا السرطانية المنقسمة، ما يجعل الخلية تموت تلقائياً بعد أن تجتمع نواتان فيها وأن العلاج بجزيئات الذهب يتميّز بأنه يجري مـن دون جراحة، مما يجنّب المـريض التعـرض للبكتيريـا أو الميكروبـات .وتم تطبيـق هـذه النتائج على خلايا سرطانية في حيوانات التجارب. وأن الإشكالية البحثية حاليـاً تكمن في التأكّد من تأثير مركبات الذهب الدقيقة الخضر علـى جسـم الإنسـان، بعد أن تؤدي الغرض المطلوب منها، وكذلك الآثـار الجانبيـة المتصـلة بهـا. وأن العلاج بجزيئات الذهب قد يصبح فعـالاً بنسـبة 90 في المئـة بالنسـبة إلى سـرطان الثدي، خصوصاً أن واحدة من 7 سـيدات تصـاب بـه. ويتوقـع أن يحـدث أمـر مشابه بالنسبة إلى علاج سرطان البروستات، مشيراً إلى صعوبة في علاج سرطاني الرئة والدماغ نظراً إلى وجود عظـام تحـول دون تغلغـل الضـوء داخـل الخلايـا، وكذلك الحال بالنسبة إلى سرطان الكبد.

مستقبل النانوتكنولوجي في الطب

يعتقد العلماء والباحثون في هذا المجال حدوث عدة طفرات طبية جديدة باستخدام النانوتكنولوجي. ومن الدراسات التي يجري البحث فيها حاليًا:

1. النانوكمبيوتر (Nanocomputers)

حيث تم تصميم كمبيوترات متناهية الصغر يتم حقنها في جسم المريض، تقوم بعمليات محددة حسب برمجتها. وتكون هذه الكمبيوترات متناهية الصغر وذاتية التحلل، وسوف يتم استخدامها في كثير من المجالات بحلول عام 2010: 2020 ومنها:

أ- القضاء على الخلايا المتسرطنة: حيث بإمكان هذه الأجهزة المتناهية الصغر أن تتحرك داخل الجسم بحثا عن الخلايا السرطانية وقتلها.

ب- الإمداد بالأوكسجين ج- ميتوكندريا صناعية.

2. خلايا الدم النانومترية (Respirocytes)

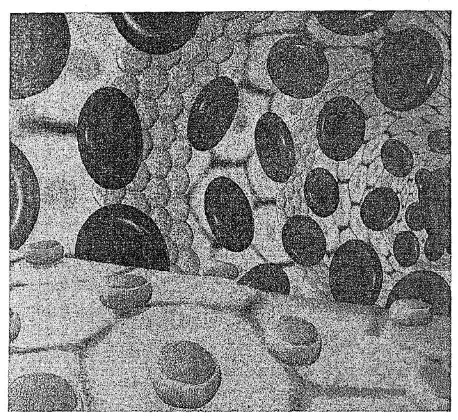
وهي خلايا دم حمراء صناعية يمكنها حمل الأكسجين بقدرات فائقة حيث تصل قدرتها في ذلك 236 مرة مثل خلايا الدم الحمراء الطبيعية.



شكل (9) خلايا الدم النانومترية تجاور خلايا الدم الطبيعية

3. خلايا الأوعية الدموية (Vasculocytes)

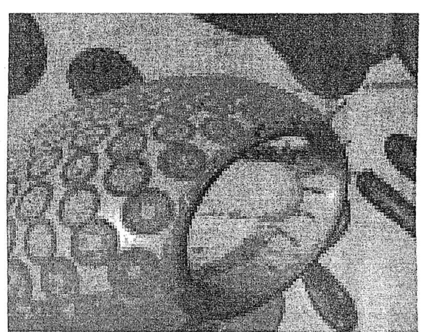
وهي خلايا تقوم باصلاح أمراض الشرايين المختلفة مثل تصلب الشرايين وانفجارالشرايين.



شكل (10) خلايا الأوعية الدموية النانومترية تقوم بوظيفتها في علاج تصلب الشرايين

4. الخلايا المنظفة (Microbivore)

وهي أجهزة تقوم بتنظيف الدم من الأجسام العالقة فيه والمسببة للأمراض.



شكل (11) الخلايا المنظفة النانومترية

طب النانو

يمثل طب النانو Nanomedicine تلك التطبيقات الطبية لتقنية النانو. وتتنوع مجالات الطب النانوي من مجموعة التطبيقات الطبية للمواد النانوية، وأجهزة الاستشعار الإلكترونية النانوية، إلى التطبيقات المستقبلية المتاحة للتقانة النانوية الجزيئية. إلا أن المشكلات الحالية التي تواجه الطب النانوي كثيرة، تنطوي أهمه أعلى فهم القضايا المتصلة بعلم السموم النانوي والأثر البيئي للمواد النانومترية الحجم.

وتتلقى أبحاث الطب النانوي تمويلا من معاهد الصحة الوطنية الأمريكية. وتجدر الإشارة إلى أن تمويل الخطة الخمسية في عام2005 استهدف إقامة أربعة مراكز لطب النانو. وفي أبريل 2006، قدرت مجلة مواد الطبيعة أنه قد تم تنمية وتطوير نحو 130 دواء قائم على التقانة النانوية بالإضافة إلى أنظمة توصيل الدواء كذلك عبر أرجاء العالم أجمع.

نظرة عامة

يهدف طب النانو إلي توفير مجموعة قيمة من الأدوات البحثية بالإضافة إلى العديد من الأجهزة العلاجية المفيدة في المستقبل القريب. كما تتوقع مبادرة التقانة النانوية الوطنية The National Nanotechnology Initiative العديد من التطبيقات التجارية في مجال صناعة الدواء pharmaceutical industry والتي قد تتضمن أنظمة توصيل الدواء المتقدمة، العلاجات الجديدة، والتصوير إن فيفو in vivo imaging كما تعد كلٌ من الواجهات التفاعلية الإلكترونية العصبية والمستشعرات الأخرى القائمة على الإلكترونيات النانوية هدفاً آخر للأبحاث في مجال تقنية الطب النانوي. وبالإضافة إلى المزيد من التفاصيل في الأسفل، فيؤمن مجال الدراسة المستقبلية "التقانة النانوية الجزيئية" أن آلات إصلاح الخلية قد تحدث ثورة متوقعة في المجال الطبي. كما يعد طب النانو مجالاً واسعاً للصناعة، حيث وصلت مبيعاته إلى ما يقارب 6.8 مليار دولار أمريكي خلال عام 2004. ويضم ذلك المجال أكثر من 200 شركة و38 منتج عبر أرجاء العالم، بتمويلٍ لا يقل عن 3.8 مليار دولار أمريكي تستثمر في مجالي البحث والتنمية سنوياً. فمن المتوقع مع استمرار نمو صناعة طب النانو، أن يكون لها تأثيرها الهام على الاقتصاد العالمي.

توصيل الدواء

ترتكز المدخلات الطبية النانوية لعملية توصيل الدواء على تطوير الجسيمات أو الجزيئات نانوية القياس بهدف تحسين التوافر الحيوي للدواء. يشير مصطلح البيوفايبيليتي (التوافر الحيوي) bioavailability إلى تواجد جزيئات الدواء في المكان المطلوب تواجدها فيه داخل الجسم البشري وحيث تكون الفائدة منها أفضل. وتركز عملية توصيل الدواء على زيادة التوافر الحيوي سواءً بالأماكن الخاصة داخل الجسم وعلى مدار مدة زمنية معينة. ويمكن تحقيق ذلك بصورةٍ متوقعة من خلال الاستهداف الجزيئي molecular targeting باستخدام الأجهزة المهندسة نانوياً. فالأمر كله يدور حول استهداف الجزيئات وتوصيل الدواء مع مراعاة دقة الخلية المستهدفة من العملية. مع ملاحظة أن أكثر من 65 مليار دولار أمريكي تضيع سنوياً بسبب ضعف التوافر الحيوي للأدوية. كما يتم تطوير الآلات والأجهزة بذلك المجال الخاص بالتصوير الحيوي (In vivo) والذي يعد مجالاً آخراً من مجالات البحث والتطوير في طب النانو. وقد تكون الطرق الجديدة للمواد المهندسة نانوياً، والتي تم تطويرها، فعالة معالجة الأمراض ومنها السرطان. إلا أن ما يستطيع علماء النانو تحقيقه في المستقبل يفوق جميع التخيلات الحالية. وقد يتحقق هذا من خلال الأجهزة النانوية المتكافئة حيوياً biocompatible والمجموعة ذاتياً self-assembled والتي سيكون لها القدرة على استكشاف وتقويم ومعالجة بالإضافة إلى تقديم التقارير للطبيب المعالج بصورةٍ تلقائيةٍ آليةٍ.

هذا بالإضافة إلى أن أنظمة توصيل الدواء وكذلك الجسيمات النانوية المكوثرة (البوليمرية) أو الليبيدية الدهنية قد يتم تصميمها لتحسين الخصائص الدوائية والعلاجية للأدوية. وتتمثل قوة أنظمة توصيل الدواء في قدرتها على

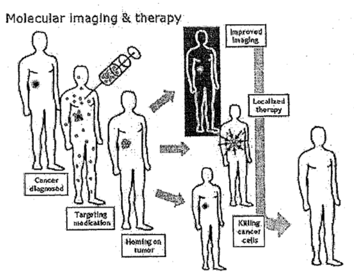
تغيير الحركيات الدوائية pharmacokinetics والتوزيع الحيوي للدواء داخل الأعضاء. كما أنه توجد للجسيمات النانوية مجموعة من الخصائص الغير تقليدية والتي تستخدم لتحسين عملية توصيل الدواء. وفي الوقت الذي يتم فيه تنقية الجسد من الجسيمات الأكبر، فإن للخلايا القدرة على حمل هذه الجسيمات النانوية بسبب أحجامها. كما تم تطوير آليات توصيل الدواء ومنها القدرة على الحصول على الدواء من خلال أغشية الخلية وكذلك داخل هَيُولَى الخَلِيَّة أو سيتوبلازم الخلية Cytoplasm. وللكفاءة أهميتها حيث أن العديد من الأمراض تعتمد على العمليات داخل الخلية ولا يمكن إعاقتها إلا من خلال الأدوية التي تشق طريقها إلى داخل الخلية. وتكون الاستجابة المثارة أحادية المسار لجزيئات الدواء لتستخدم بصورةٍ أكثر فعالية. حيث يتم وضع الأدوية داخل الجسم ويتم تنشيطها على مواجهة إشارةٍ معينةٍ. على سبيل المثال، يتم إحلال دواء ذا قدرة ضعيفة على الذوبان في المحلول بنظام توصيل دواء حيث تتواجد كلتا البيئتين المائية وغيرها (hydrophilic and hydrophobic environments)، مما يحسن من القدرة الذوبانية للدواء. هذا بالإضافة إلى أن الدواء قد يسبب تلف الأنسجة، إلا أنه مع نظام توصيل الدواء، فإن عملية انتشار وانبعاث الدواء المنظمة قد تلغي وتمحو تلك المشكلة. فلو تم تنقية الجسد من الأدوية بسرعة كبيرة، فقد يجبر هذا المريض على استخدام جرعاتٍ أكبر من تلك الأدوية، إلا أنه ومع عملية التطهير الدوائي القائمة على أنظمة توصيل الدواء، يمكن الإقلال من تلك الجرعات الدوائية التي يتناولها المرء منبهاً الحرائك أو الحركيات الدوائية للدواء. ففي الوقت ذاته يعد التوزيع الحيوي للدواء مشكلةً تؤثر على الأنسجة الطبيعية عبر التوزيع عريض المدى، إلا أن الذرات المادية بأنظمة توصيل الدواء تقلل من كم التوزيع وتقلص من التأثير الواقع على النسيج الغير مستهدف. ومن المتوقع أن تعمل الأدوية النانوية من خلال مجموعة من الآليات المحددة بدقة ومفهومة بصورةٍ واضحةٍ؛ حيث سيكون أحد تلك التأثيرات الناجمة عن تقنية

النانو وعلوم النانو متمثلاً في تطوير أدويةٍ جديدةٍ تماماً ذات أداءٍ أكثر فائدةٍ وأقل ضرراً من ناحية أعراضه الجانبية.

توصيل البروتين والببتيد

للبروتين والببتيد Protein and peptides العديد من الأدوار الحيوية داخل الجسم البشري، حيث تم اكتشاف قدرتهما الكامنة على علاج العديد من الأمراض والاضطرابات. وقد عُرِفت تلك الجزيئات الكبيرة نسبياً macromolecules باسم الأدوية الحيوية .biopharmaceuticals حيث أصبحت عملية التوصيل سواءً المستهدفة و/ أو المضبوطة لهذه الأدوية باستخدام المواد النانوية ومنها الجسيمات النانوية مجالاً ناشئاً يُطلق عليه علم الأدوية الحيوية النانوية nanobiopharmaceutics، ومن ثم فقد أُطلق على تلك المنتجات ادوية حيوية نانوية.nanobiopharmaceuticals

السرطان



شكل (12) رسم تخطيطي توضيحي يشرح كيفية استخدام الجسيمات النانوية أو أدوية السرطان الأخرى لعلاج السرطان.

في حين يمنح الحجم الصغير للجسيمات النانوية خصائصاً قد تمثل فائدةً كبيرةً في علم الأورام أو الأنكولوجي. oncology وبصورةٍ خاصةٍ في مجال التصوير. فعندما تُستخدم النقاط الكمومي Quantum dots جسيمات نانوية ذات خصائصٍ حابسةٍ، ومنها انبعاث الضوء الانضباطي الحجم size-tunable light emission مصاحبةً للتصوير بالرنين المغناطيسيMRI ، يمكن الحصول على صوراً استثنائيةً لمواقع الأورام. حيث أن تلك الجسيمات النانوية تكون أكثر بريقاً من الأصباغ العضوية ولا تحتاج سوى إلى مصدر ضوءٍ واحدٍ فقط للإثارة والتوهج. وهذا يعني أن استخدام نقاط الفلوريسينت الكمومية تنتج صوراً أكثر تبايناً وبتكلفةٍ أقل عن الأصباغ العضوية المستخدمة في يومنا هذا كوسيطٍ للتباين أو ما يطلق عليه المادة المظللة. contrast media إلا أن الجانب السلبي في ذلك الأمر على الرغم من ذلك يتمثل في أن تلك النقاط الكمومية غالباً ما تصنع من عناصر سامة تماماً.

كما تسمح خاصية أخرى نانوية والمتمثلة في ارتفاع نسبة مساحة السطح إلى نسبة الحجم، باتصال العديد من المجموعات الوظيفية وارتباطها بالجسيم النانوي، والذي قد يسعى إلى الارتباط ببعض الخلايا السرطانية. هذا بالإضافة إلى الحجم الصغير للجسيمات النانوية (من 10 إلى 100 نانومتر) يسمح لتلك الجسيمات بالتجمع بصورةٍ تفضيليةٍ في مواقع الأورام بسبب أن الأورام تفتقر إلى نظام فعال للتصريف الليمفاوي an effective lymphatic drainage system ويتمثل أحد الأسئلة البحثية المثيرة في كيفية الاستفادة من هذه الجسيمات النانوية المستخدمة في التصوير في علاج الأورام السرطانية. وللحظة نتساءل، هل من الممكن تصنيع وإنتاج جسيمات نانوية متعددة الوظائف والتي يكون لها القدرة على اكتشاف وتصوير والتقدم لمعالجة ذلك الورم؟ ويمثل ذلك

اتساؤل محور أبحاثٍ وتحقيقاتٍ نشطةٍ؛ حيث قد تحدد الإجابة على ذلك التساؤل ملامح مستقبل علاج السرطان. وقد أوشكت تقنية علاجية جديدة للسرطان أن تحل ذات يومٍ محل العلاج الإشعاعي والكيميائي في علاج الأورام السرطانية. حيث ربطت طريقة Kanzius RF العلاجية الجسيمات النانوية الجهرية بالخلايا السرطانية ثم "طهى" الأورام داخل الجسم باستخدام موجات الراديو ثم قام بتسخين الجسيمات النانوية والخلايا (السرطانية) المجاورة فقط.

ولرقائق اختبار المستشعر والمحتوية على الآلاف من الأسلاك النانوية القدرة على اكتشاف البروتينات بالإضافة غلى المؤشرات الحيوية الأخرى والتي تخلفها الأورام السرطانية، بالإضافة إلى قدرتها على اكتشاف وتشخيص السرطان في المراحل المبكرة بواسطة بضع نقاط من دم المريض.

وتعتمد النقطة الرئيسية لاستخدام تقنية توصيل الدواء على ثلاثة حقائق هي: 1) التغليف الكفء للأدوية، 2) توصيلٍ ناجح للأدوية الموصوفة إلى المناطق المستهدفة بالجسم، و3) الانطلاق الناجح للدواء بتلك المنطقة.

وقد أجرى الباحثون بجامعة رايس بحثاً تحت إشراف البروفيسور "جينيفر ويت" حول استخدام قشور نانوية مقياسها 120 نانومتر ومطلية بالذهب لقتل الأورام السرطانية بالفئران. ويكون الهدف من استخدام تلك القشور النانوية الارتباط بالخلايا السرطانية من خلال توحيد وربط الأجسام المضادة أو الببتيد بسطح القشرة النانوية. وينتج عن تعريض تلك المنطقة المصابة بالورم السرطاني إلى الاشعة باستخدام أشعة الليزر تحت الحمراء والتي تخترق اللحم بدون تسخينه، تسخين الذهب بدرجةٍ كافيةٍ ليسبب موت الخلايا السرطانية.

هذا بالإضافة إلى اختراع جون كانزيزس لآلة ترددات لاسلكية والتي

تستخدم مزيجاً من الموجات اللاسلكية وجسيمات الكربون أو الذهب النانوية لتدمير الخلايا السرطانية.

تتوهج الجسيمات النانوية لسيلينيد الكادميوم cadmium selenide نقاط كمومية quantum dots عندما تتعرض لإضاءة فوق بنفسجية. حيث تتسرب وتسيل إلى داخل الأورام السرطانية عندما يتم حقنها. ومن ثم يستطيع الجراح رؤية الورم المتوهج، ويستخدم ذلك التوهج كمرشدٍ له لإزالة الورم بدقةٍ أكبر.

كما آمن أحد العلماء بجامعة ميتشجن، جيمس بيكر أنه اكتشف طريقةً كافيةً وناجحةً لتوصيل الأدوية المعالجة للسرطان والتي تعد أقل ضرراً على المناطق المحيطة داخل الجسم. حيث طور بيكر تقانة نانوية والتي تقوم أولاً بتحديد موقع ثم بعد ذلك إزالة الخلايا السرطانية. حيث نظر إلى جزيء يُطلق عليه ديندريمر dendrimer حيث يتسم هذا الجزيء بوجود مئة خطاف على سطحه والتي تسمح له بالارتباط بالخلايا داخل الجسم للعديد من الأسباب. ثم قام بيكر بوصل حمض الفوليك ببعضٍ من تلك الخطاطيف (حيث تستقبل خلايا الجسم حمض الفوليك هذا وهو عبارة عن فيتامين). ونتيجة أن للخلايا السرطانية مستقبلاتٍ أكثر من الخلايا الطبيعية داخل الجسم للفيتامين، فإن جزيء الديندريمر dendrimer والمحمل بالفيتامين يتم امتصاصه بواسطة تلك الخلية السرطانية. في حين قام بيكر بربط باقي خطاطيف الديندريمر بعلاجاتٍ مضادة للسرطان والتي سيتم امتصاصها مع امتصاص الديندريمر داخل الخلية المسرطنة، مما يسفر عن توصيل دواء السرطان إلى داخل الخلية السرطانية دون أي مكنٍ آخرٍ (Bullis 2006).

ومن الملاحظ أنه في المعالجة بالديناميكا الضوئية، يتم وضع جسيم داخل الجسم ويضاء بضوءٍ من الخارج. حيث يمتص الجسيم الضوء، ولو كان الجزيء

معدناً، فالطاقة الصادرة من الضوء تقوم بتسخين الجسيم والنسيج المحيط كـذلك. كما يتم الاستفادة من الضوء كذلك في إنتاج جزيئات الأوكسجين عاليـة الطاقـة والتي ستتفاعل كيميائياً مع معظم الجزيئات العضوية المجاورة لها وتدمرها (ومنهـا الأورام). ولهذا العلاج جاذبيته لعـدة أسـباب. فهـو لا يـترك أيـة "محاولـةٍ سـامةٍ" للجزيئات التفاعلية خلال الجسم (العلاج الكيميائي)، ذلك لأنها موجهـة فقـط حيث يلمع الضوء وتتواجد الجسيمات. وللمعالجة بالـديناميكا الضـوئية قـدرتها الغير توسعية للتعامل مع الأمراض والنمو والأورام.

الجراحة

كما استخدم في جامعة رايس (لحام اللحم) بهدف دمج قطعتين من لحـوم الدجاج إلى قطعةٍ واحدةٍ. حيث دمجت القطعتين من لحم الدجاج بالتلامس، مـن خلال تقطير سائلٍ أخضرٍ يحتوي على قشور نانوية مطليـة بالـذهب علـى طـول خط التماس بين القطعتين. ثم تلى ذلك توجيه أشعة الليزر تحت الحمـراء علـى طول خط التماس كذلك، مما يؤدي إلى تلاحم كلا القطعتين عند خـط تماسـهما معاً. وهذا قد يحل صعوبات تدفق الدماء الناجمة عن محاولة الجراح إعادة تقطيب الشرايين التي كانت قد قُطعت من المريض أو المريضة أثناء إجراء زراعة كلـى أو قلب له أو لها. حيـث يسـتطيع لحـام اللحـم ذلـك لحـم الشـريان بدقـةٍ متناهيـةٍ وبصورةٍ تامةٍ.

التصوير

تساعد حركة تتبع المسار على تحديد مدى جـودة توزيـع الأدويـة وكيفيـة التمثيل الجيد للمواد. حيث أنه من الصـعب تتبـع مجموعـة صـغيرة مـن الخلايـا داخل الجسم، ومن ثم اعتاد العلماء صبغ الخلايا. كما تتطلب تلك الصبغات أن

يتم إثارتها بواسطة ضوء طول موجي محدد بهدف دفع تلك الصبغات للإضاءة. وفي الوقت الذي تمتص فيه العديد من الصبغات مختلفة الألوان ترددات متنوعة من الضوء، فقد ظهرت الحاجة إلى استخدام مصادر متعددة للضوء كالخلايا. وتتمثل إحدى الطرق المستخدمة للتغلب على تلك المشكلة في البقايا المنيرة. وتلك البقايا عبارة عن نقاط كمومية متصلة بالبروتينات والتي لها القدرة على اختراق أغشية الخلية. ويمكن تصنيع تلك النقاط عشوائية الحجم من مواد خاملة حيوية bio-inert material، والتي تتسم بأحجامها النانوية حيث يعتمد اللون على الحجم، ومن ثم يتم انتقاء الأحجام، لذلك يمثل تردد الضوء (المستخدم لإنتاج مجموعةٍ من فلوريسنت النقاط الكمومية) مجموعةً فرديةً من الترددات المطلوبة لجعل مجموعة أخرى تتوهج وتلمع. ثم يمكن إضاءة كلتا المجموعتين باستخدام مصدر ضوئي واحد.

استهداف الجسيم النانوي

من الملاحظ أن الجسيمات النانوية تمثل مجالاً واعداً للتقدم في حقلي توصيل الدواء والتصوير الطبي بالإضافة إلى عملها كمستشعراتٍ تشخيصيةٍ. إلا أنه على الرغم من ذلك فإن التوزيع الحيوي لتلك الجسيمات النانوية ما زال غير معلوم بسبب صعوبة استهداف أعضاءٍ محددةٍ بالجسم. في حين أظهرت دراسة حديثة أجريت على الأجهزة الإخراجية للفئران أن قدرة مركّبات الذهب في استهداف أعضاءٍ محددةٍ تعتمد على حجمها وشحنتها. ومن ثم فيتم طلاء تلك الجسيمات النانوية بدندريمر dendrimer ويتم إعطائها شحنة محددة سواءً أكانت شحنةً إيجابيةٍ أم سلبيةٍ. حيث وجد أن جسيمات الذهب النانوية موجبة الشحنة تخترق وتنفذ إلى الكلى في حين تبقى جسيمات الذهب النانوية سالبة الشحنة

بالكبد والطحال. فقد افتُرِض أن شحنة السطح الموجبة تقلل معدل تطويق (osponization وهي تعني طلاء الكائنات الدقيقة بالأجسام المضادة لتتعرف عليها البالعات) الجسيمات النانوية داخل الكبد، ومن ثم تؤثر على مسار الإخراج. حتى لو كان حجمها يصل نسبياً إلى 5 نانومترات، فإن هذه الجزيئات قد تتجزء داخل الأنسجة الخارجية أو السطحية، ومن ثم تتجمع داخل الجسم مع مرور الوقت. كما أثبت التقدم في الدراسات البحثية أن عمليتي الاستهداف والتوزيع تتزايد مع استخدام الجسيمات النانوية، في حين تعد مخاطر التسمم النانوي الخطوة التالية في الإدراك والوعي المستقبلي لاستخداماتها الطبية.

التواصل الإلكتروني العصبي

يمثل التواصل العصبي الإلكتروني هدفاً مرئياً يتناول بنية الأجهزة النانوية والتي ستسمح بتوصيل الحاسوب وربطه بالجهاز العصبي. وتتطلب تلك الفكرة بناء هيكل جزيئي يسمح باكتشاف وضبط النبضات العصبية بواسطة جهاز حاسوب خارجي. حيث تستطيع أجهزة الحاسوب تفسير وتسجيل والاستجابة للإشارات التي يصدرها الجسم عندما يستشعر أحاسيسٍ مختلفة. ويتزايد الطلب بكمية ضخمة على تلك البنية بسبب أن العديد من الأمراض تتضمن اضمحلال وانهيار الجهاز العصبي ومنها مرض التصلب الجانبي التحللي amyotrophic lateral sclerosis (ALS) ومرض التصلب المتعدد (multiple sclerosis (MS)) كما قد تُضعف الكثير من الاصابات والحوادث الجهاز العصبي مما يسفر عن اختلال النظم والشلل النصفي. فلو استطاعت أجهزة الحاسوب السيطرة على الجهاز العصبي من خلال وجهات التفاعل العصبي الإلكترونية، يمكن التحكم في المشكلات التي تُضعف الجهاز العصبي ومن ثم يمكن التغلب على تأثيرات

الأمراض والإصابات. وهنا يجب وضع في الاعتبار توفير عاملين عند اختيار مصدر الطاقة لمثل تلك التطبيقات، يتمثلان في استراتيجيات قابلة لتمويل الوقود المستمر وغير قابلة للتمويل. فالاستراتيجية القابلة لتمويل الوقود refuelable strategy تعني أن الطاقة يتم ملئها باستمرار أو بشكلٍ دوري بالمصادر الصوتية، الكيميائية، المغناطيسية، والكهربائية. في حين تعني الاستراتيجية الغير قابلة للتمويل بالوقود nonrefuelablestrategy أن كل القوى تُستمد من تخزين الطاقة الداخلية internal energy storage والتي ستوقف عندما تستنفذ الطاقة.

إلا أن أحد قيود ذلك الاختراع يتمثل في حقيقة أن واجهة التفاعل الكهربائية هي مسألة ممكنة. حيث تستطيع كلٌ من المجالات الكهربائية، النبضات الكهرومغنناطيسية electromagnetic pulses EMP والمجالات الأخرى الناجمة عن استخدام الأجهزة الكهربائية الحيوية (إن فيفو in vivo) أن تسبب كلها واجهات تفاعلٍ وتواصلٍ. هذا بالإضافة إلى أنه مطلوب تواجد عوازلٍ سميكةٍ بهدف منع تسرب الإلكترونات، كما أنه لو ارتفعت موصلية conductivity الوسيط الحيوي (إن فيفو) فستوجد مخاطرة في فقدان أو قصور مفاجيء في الطاقة. وفي النهاية، مطلوب توفير أسلاكٍ سميكةٍ لتوصيل مستويات الطاقة الضرورية بدون زيادة معدلات التسخين. وعلى الرغم من توافر الأبحاث في المجال، إلا أن تقدماً محدوداً فقط هو ما تم تحقيقه. حيث أنه من الصعب تكوين شبكة اسلاكٍ للهيكلِ أو البنية نسبب أنه يجب وضعها بدقةٍ داخل الجهاز العصبي ليصبح قادراً على التحكم والاستجابة للإشارات العصبية. كما أنه يجب أن تكون الهياكل أو البنيات التي تمثل واجهة التفاعل والتواصل تلك متوافقة مع الجهاز المناعي للجسم ومن ثم تصبح قادرة على البقاء والتواجد لمدةٍ طويلةٍ بدون التأثر داخل ذلك الجسم. هذا بالإضافة إلى أنه يجب أن تشعر تلك الهياكل

بالتيارات الأيونية بالإضافة إلى قدرتها على جعل التيارات تتدفق عائدةً للخلف. وفي حين أن إمكانيات تلك الهياكل أو البنيات تعد مذهلة ومدهشة، إلا أنه لا يوجد جدولٌ زمني ليحدد متى ستكون متاحة في المستقبل.

التطبيقات الطبية للتقنية النانوية الجزيئية

يمثل علم التقانة النانوية الجزيئية إحدى مجالات الدراسة الفرعية المستقبلية لعلم التقانة النانوية والذي يهتم بإمكانية هندسة المجمعات الجزيئية، وهي تلك الآلات التي تعيد تنظيم وترتيب المادة على المقياس الجزيئي أو الذري. إلا أن علم التقانة النانوية الجزيئية يتسم بأنه نظري بدرجةٍ عاليةٍ، حيث يسعى إلى توقع ماهية الاختراعات التي قد تُقَدَم في مجال التقانة النانوية بالإضافة إلى أنه يقترح أجندة عمل للتسؤلات المستقبلية. هذا بالإضافة إلى أن العناصر المقترحة لعلم التقانة النانوية الجزيئية ومنها المجمّعات الجزيئية وروبوتات النانو بعيدة جداً عن الإمكانيات والقدرات الحالية.

روبوتات النانو

يقول الدعاة أن المزاعم المتوقعة والمحتملة حول إمكانية استخدام بروبوتات النانو في المجال الطبي ستغير من عالم الطب في حال تم تحقيقها. حيث سيستفيد طب النانو من مثل تلك الروبوتات النانوية ومنها على سبيل المثال؛ الجينات المحوسبة Computational Genes، من خلال وضعها بالجسم بهدف إصلاح أو اكتشاف الأضرار والعدوى التي يتعرض لها الجسم. وطبقاً لما أورده روبرت فريتس Robert Freitas والعامل بمعهد التصنيع الجزيئي، فإن الروبوت النانوي النموذجي المتحمل للدم يصل حجمه إلى ما بين 0.5-3 ميكروميتر، ذلك لأن هذا الحجم يعد أقصى حجم متاح نتيجة متطلبات ممر الشعيرات الدموية

للسماح له بالمرور. وقد يصبح الكربون العنصر الأساسي والمستخدم في بناء تلك الروبوتات النانوية نتيجة قوته الداخلية الكامنة والعديد من الخصائص الأخرى لبعض أشكال الكربون (مركبات الألماس والفوليرين، هذا بالإضافة إلى أن روبوتات النانو تلك سيتم تصنيعها بمصانع سطح المكتب النانوية والمخصصة لذلك الغرض).

ويمكن ملاحظة ومتابعة عمل الأجهزة النانوية داخل الجسم باستخدام أشعة الرنين المغناطيسي، خاصةً لو كانت تم تصنيع مكوناتها باستخدام ذرات الكربون (13) C atoms13 بدلاً من نظير الكربون (12) الطبيعيC_{12} natural isotope of carbon، حيث أنه لا توجد لحظة صفرية مغناطيسية ذرية للكربون (13) C_{13}. حيث سيتم أولاً حقن الأجهزة النانوية الطبية إلى داخل الجسم البشري، ثم ستذهب إلى محل عملها بعد ذلك داخل عضوٍ محددٍ أو كتلة نسيجٍ معينةٍ. وسيتحكم الطبيب بالتقدم، وسيتأكد أن الجهاز النانوي الطبي قد وصل إلى هدفه ووجهته المحددة بالمنطقة المخصصة للعلاج. كما أن الطبيب سيكون حينئذٍ قادراً على مسح منطقةٍ كاملةٍ من الجسد، وسيرى في ذلك الوقت الجهاز النانوي وهو ملتف حول هدفه (كتلة ورم أو اي شيءٍ آخر) ومن ثم يستطيع التأكد أن ذلك الإجراء كان موفقاً.

آلات إصلاح الخلية

يستطيع الأطباء تشجيع الأنسجة على إصلاح نفسها فقط من خلال باستخدام الأدوية والجراحة. إلا أنه مع استخدام الأجهزة الجزيئية، ستتوفر العديد من الفرص لعمليات الإصلاح المباشرة. حيث ستعتمد تقنية إصلاح الخلية على نفس المهام التي أثبتت الأجهزة الطبيعية أنها قادرة على أدائها.

فالوصول إلى الخلية أصبح ممكناً نتيجة أن علماء الأحياء استطاعوا غرس الإبر داخل الخلايا بدون قتلها. ومن ثم أصبحت الأجهزة الجزيئية قادرة على دخول الخلية. وكذلك، أظهرت كل التفاعلات الحيوية الكيميائية biochemical interactions الخاصة أن الأنظمة الجزيئية تستطيع التعرف على الجزيئات الأخرى باللمس، وكذلك تستطيع بناء وإعادة بناء كل جزيء داخل الخلية، كما أنها قادرة على تفريق الجزيئات المصابة والتالفة. وفي النهاية أثبتت الخلايا التي تحل محل القديمة أن الأنظمة الجزيئية تجمع كل نظام وجد بالخلية. ومن ثم، فمنذ أن أدارت الطبيعة العمليات الأساسية المطلوبة لأداء عملية إصلاح الخلية على المستوى الجزيئي، فإنه في المستقبل، يمكن بناء الأنظمة القائمة على الأجهزة النانوية والتي عندها القدرة على دخول الخلايا، والإحساس بالفروق بين الخلايا المريضة عن تلك الخلايا الصحية السليمة ومن ثم القيام بالتعديلات المرغوبة في البنية الهيكلية.

ومن هنا تعد إمكانيات الرعاية الصحية لتلك الآلات الإصلاحية مبهرة وجذابة. ومقارنةً بأحجام الفيروسات والبكتريا، فإن أجزائها المدمجة ستسمح لها لتصبح أكثر تعقيداً. وسيتم تخصيص الآلات المبكرة. وبما أنها تفتح وتغلق أغشية الخلية أو تسافر عبر النسيج وتدخل الخلايا والفيروسات، فإن الآلات وحدها ستكون قادرة على تصحيح خللاً جزيئياً واحداً مثل تلف الحامض النووي DNA أو نقص كفاءة الإنزيم. ومؤخراً، فإن آلات إصلاح الخلية ستكون قابلة للبرمجة والتزود بالمزيد من القدرات بمساعدة أنظمة الذكاء الاصطناعي المتقدمة advanced AI systems وهنا ستكون الحواسب النانوية Nanocomputers مطلوبة لإرشاد تلك الآلات. حيث ستقوم تلك الحواسب النانوية بتوجيه الآلات للمناطق حيث ستقوم بفحص والمشاركة وإعادة بناء

الهياكل أو البنيات الجزيية التالفة. ومن ثم ستصبح آلات إصلاح الخلية قادرة على إصلاح كامل الخلايا من خلال عمل أو إصلاح هيكل بعد هيكل. ثم العمل بعد ذلك خليةٍ بعد خليةٍ ثم نسيجٍ بعد نسيجٍ على التسلسل، ومن ثم سيتم إصلاح كامل الأعضاء. وفي النهاية، من خلال العممل على عضو بعد عضو، فسيتم استعادة الصحة لجسم الإنسان. وهذا يؤدي إلى إعادة إصلاح الخلايا التالفة والتي وصلت لنقطة عدم القدرة على التفاعل بعد ذلك، ذلك بسبب قدرة وكفاءة الآلات الجزيئية على بناء الخلايا من الخدش. نتيجةً لذلك، تعد آلات إصلاح الخلية آلات خالية من العقارات والأدوية، حيث تعتمد على استراتيجية الإصلاح الذاتي بمفردها.

جسيمات فضة نانوية

جسيمات الفضة النانوية Silver nanoparticles: هي جسيمات متناهية الصغر للفضة، بمعنى أنها جسيمات الفضة التي يتراوح حجمها ما بين (1 نانومتر– 100 نانومتر) وعادة ما وُصفت بأنها "فضة" وبعضها يتكون من نسبة مئوية كبيرة من أكسيد الفضة نظراً للنسبة السطحية الكبيرة التي يمتلكها مقارنة مع ذرات الفضة السائبة.

الاستخدامات الطبية للفضة النانوية

في العقود الماضية وجدت جسيمات الفضة النانوية تطبيقاتها في الحفز، البصريات، الإلكترونيات، وفي غيرها من المجالات نظراً لحجمها الفريد وهذا ماتعتمد عليه البصريات، وخواصها الكهربائية والمغناطيسية. حالياً معظم التطبيقات الخاصة بجسيمات الفضة النانوية تمركزت في العوامل المضادة للبكتريا

والمضادة للفطريات وفي مجال التكنولوجيا الحيوية والهندسة البيولوجية، هندسة النسيج، معالجة المياه، والمنتجات الاستهلاكية القائمة على الفضة.

هناك أيضاً محاولة لدمج جسيمات الفضة النانوية في مجموعة واسعة من الأجهزة الطبية على سبيل المثال لا الحصر:

- أسمنت العظم
- أدوات الجراحة
- الأقنعه الجراحية الواقية
- ضمادات الجروح

وقد قامت شركة سامسونج بتصنيع وتسويق مادة تسمى "نانو فضة" والتي تحتوي على جسيمات الفضة النانوية على أسطح الأجهزة المنزلية.

وقد تم استخدام جسيمات الفضة النانوية ككاثود في بطارية أكسيد الفضة.

الاهتمامات الصحية

تمّ الربط بين التعرض للفضة وعواقب الالتهابات، الأكسدة، سمّية الجينات، سمّية الخلايا؛ وتتراكم جسيمات الفضة في المقام الأول في الكبد. ولكن تبّين أيضاً سمّيته في الأجهزة الأخرى بما في ذلك الدماغ. الفضة الأيونية لديها تاريخ طويل من الاستخدام في التطبيقات الطبية الموضعية حيث ثبت أن الفضة الأيونية إذا تواجدت بكميات دقيقة وصحيحة تعتبر مناسبة في علاج الجروح. وقد وافقت منظمة الغذاء والأدوية الأمريكية على استخدام مجموعه واسعه من مختلف ضمادات الجروح المشبعه بالفضة. وأصبحت جسيمات الفضة النانوية الآن تحل محل سلفاديازين الفضة كعامل فّعال في علاج الجروح.

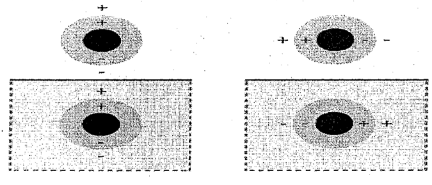
- ردّ فعل الحساسية: في حين أن هناك أدلة مؤكدة تشير إلى احتمال وجود حساسية تجاه الفضة هناك استعراض موسع وشامل من المؤلفات الطبية والتي لا تشير إلى وجود أي مصداقية لهذا الاحتمال. بعض سبائك الفضة التي تحتوي على النيكل تثير رد فعل أو تفاعل تحسسي.

- التصبغ والتلون بالفضة: الفضة أو مركبات الفضة التي يتم ابتلاعها بما في ذلك الفضة الغروية، يمكنها ان تسبب حالة تسمى (أرغيريا أو التصبغ بالفضة) وهي تغير في لون الجلد والأعضاء.وفي عام 2006 كان هناك دراسة لحالة شاب في السابعه عشر من عمره والذي قد أصيب بحروق تصل إلى (30٪) من جسده حيث شهد وجود مؤقت للون رمادي مزرق وذلك بعد عدة أيام من علاجه ب"أكتيكوت" وهو أحد أنواع ضمادات الجروح المحتوية على جسيمات الفضة النانوية. أرغيريا أو التصبغ بالفضة هو ترسب الفضة في الأنسجة العميقة وهي حالة لا يمكن أن تحدث على أساس مؤقت مما يثير تساؤل عمّا إذا كان سبب تلون الرجل كان التصبغ أو حتى نتيجة لهذه المعاملة بالفضة. ومن المعروف أن ضمادات الفضة تسبب "تغير عابر" في اللون والذي يتلاشى خلال (2-14) يوم ولكنها لا تسبب تغير دائم.

صمام القلب سيلزون "Silzone": قامت سانت جود الطبية بإطلاق صمام قلب ميكانيكي مغلف بحياكة من الفضة (تم طلائه أو تغليفه بمساعدة ترسيب الفضة باستخدام شعاع أيوني) وذلك عام (1997). وقد تم تصميم هذا الصمام للحد من حالات التهاب الشغاف القلبي وتمت الموافقه على بيع هذا الصمام في كندا وأوروبا والولايات المتحدة ومعظم الأسواق الأخرى في جميع أنحاء العالم. وفي دراسة بعد التسويق أشار الباحثون إلى أن هذا الصمام منع نشوب الأنسجة وأنشأ تسرب مجاور للصمام وحدث ارتخاء في الصمام في أكثر الحالات سوءا

وبعد ثلاثة سنوات في السوق وعدد مرات زراعه لهذا الصمام قدره (36000) أشارت سانت جود الطبيه إلى التوقف الطوعي عن إنتاج هذا الصمام.

القشرة النانوية



شكل (13) القشرة النانوية

القشرة النانوية (Nanoshell) هي نوع من الجسيمات النانوية كروية الشكل والتي تتألف من نواةٍ عازلةٍ مغطاةٍ بقشرةٍ معدنيةٍ رقيقةٍ (في الغالب تكون من ذهب). وتشتمل تلك القشرة النانوية على شبه جسيم (quasiparticle) يطلق عليه بلازمون (plasmon) والذي يعبر عن إثارة جماعية أو تذبذب البلازما الكمية (quantum plasma oscillation) حيث تتذبذب الإلكترنات بصورةٍ تلقائيةٍ مع مراعاة كل الأيونات. ومن الممكن أن نطلق على التذبذب التلقائي عملية تهجين البلازمون (plasmon hybridization) حيث يصاحب ضبط التذبذب بخليطٍ من القشرة الداخلية والخارجية تتهجن لإنتاج طاقة أقل أو طاقة أعلى. وتتزاوج أو تتجمع تلك الطاقة الأقل بصورةٍ قويةٍ للضوء الساقط، في حين تعد الطاقة الأعلى غير قابلة أو مضادة للارتباط وتتجمع أو تُدمَج بصورةٍ ضعيفةٍ للضوء الساقط. كما يعد تفاعل الهجين أقوى مع طبقات القشرة الأرق، ومن ثم، تحدد سماكة القشرة وشعاع الجسيم الكلي أي طول موجي للضوء

تندمج وتتزاوج معه. هذا بالإضافة إلى أن القشور النانوية تتنوع وتختلف عبر نطاقٍ واسعٍ من الطيف الضوئي والذي يمتد عبر المناطق المرئية والقريبة من الأشعة تحت الحمراء. ويؤثر تفاعل الضوء مع الجسيمات النانوية على مواضع الشحنات والتي تؤثر على تجميع القوة. وينتج الاستقطاب العمودي عن الضوء الساقط المستقطب بصورةٍ متوازيةٍ نحو الركيزة، ومن ثم تكون الشحنات أبعد من سطح الركيزة التي تعطي تفاعلاً أقوى فيما بين القشرة والمحور. وإلا تتشكل عملية استقطاب متوازي والتي تسفر عن حدوث طاقة بلازمون منحرفة مسببةً تفاعلاً وتجمعاً أضعف (الشكل اعلاه).

التركيب

تتكون قشرة النانو من خلال عملية متعددة المراحل:

1- الحصول على جزيئات سيليكا نانوية داخل المحلول (غالباً حمض رباعي كلوروأوريك acid tetrachloroauric وعامل مختزل).

وتتكون مرحلة المحلول تلك من تجميع جسيمات الذهب النانوية من خلال الاختزال باستخدام حمض رباعي كلوروأوريك tetrachloroauric acid نتيجة استخدام عامل مختزل. وتوجد مجموعة مختلفة من العوامل المختزلة المستخدمة وكلها قد تؤثر بصورةٍ كبيرةٍ على تناسق الجسيم النانوي.

1- وصل بذرة غروانية صغيرة جداً على هذه الجسيمات النانوية العازلة ومنها (سيلنيد الزنك zinc selenide، الياقوت sapphire، والزجاج glass) مما ينتج القشرة الغير متواصلة.

2- نمو قشرة متصلة من خلال استخدام الاختزال الكيميائي للمعدن المتصل بالجسيمات النانوية العازلة للكهرباء.

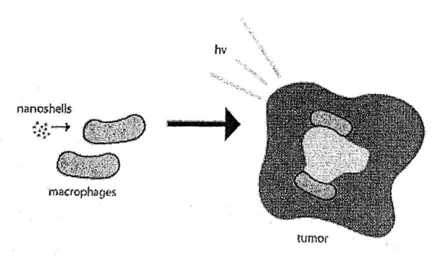
وإن تعذر الحصول على قشرة متناسقة، فإنها قد تؤثر بصورةٍ كبيرةٍ على الخصائص البصرية للقشرة النانوية. ومثال جيد على هذا يتمثل في البيضة النانوية nanoegg، هي عبارة عن قشرة نانوية معدنية والتي ليس لها سماكة منتظمة. وتسفر خاصية عدم الانتظام عن حدوث أصداء إضافية للبلازمون التهجيني hybridized Plasmon في الطيف مما يجعل من عملية الاقتران غير فعالة.

التطبيقات

نتيجة أن للقشرة النانوية خصائص وسمات بصرية وكيميائية مفضلة بصورةٍ كبيرةٍ، فإنها غالباً ما تستخدم في التصوير الطبي الحيوي biomedical imaging، التطبيقات العلاجية، تعزيزات الفلوريسين للبواعث الجزيئية الضعيفة، مطياف رامان السطحي المحسن، وكذلك في المطياف السطحي المسحنلامتصاص الأشعة تحت الحمراء.

علاج السرطان

يمكن الاستفادة من قشور الذهب النانوية في علاج الأورام السرطانية حيث تنغمس في الأورام من خلال استخدام البلعمة phagocytosis حيث تبتلع البالعات (خلايا تبتلع الأجسام الغريبة) phagocytes قشور النانو من خلال غشاء الخلية لتشكيل البالوع phagosome أو الخلية البالعة الكبيرة macrophage. وبعد هذه المرحلة تنغمس داخل الخلية وغالباً ما تستخدم الإنزيمات في عملية تمثيلها وإخراجها مرةً أخرى خارج الخلية. ولا يتم تمثيل هذه القشور النانوية ومن ثم لتصبح فعالة فهي في حاجة إلى أن تكون داخل خلايا الورم السرطانية ويستخدم "موت الخلية بالإشعاع الضوئي" photoinduced cell death في إزالة خلايا الورم. وقد تم توضيح هذا المخطط في الشكل ادناه.



شكل (14) طريقة ازالة الاورام السرطانية

كما تم توصيل العلاجات القائمة على الجسيمات النانوية إلى داخل الأورام بنجاح من خلال الاستفادة من القدرة النفاذية المحسنة enhanced permeability وبقاء الأثر retention effect، وهو يعبر عن خاصية تسمح للهياكل والأجسام النانوية المقياس ليتم سحبها إلى أعلى داخل الأورام بدون مساعدة الأجسام المضادة. إلا أن عملية توصيل قشور النانو إلى داخل تلك المناطق الهامة بالأورام قد يمثل صعوبةً بالغةً. حيث هنا تحاول معظم قشور النانو الاستفادة من التوظيف الطبيعي للورم للوحيدات monocytes في عملية التوصيل كما تم ملاحظته في الشكل السابق. ويطلق على هذا النظام في التوصيل "حصان طروادة".

وتعد تلك الطريقة ناجحة في علاج الأورام بسبب أن الأورام عبارة عن ¾ خلايا بالغة كبيرة وبمجرد دخول الخلايا الوحيدة monocytes إلى داخل الورم، فإنها تتميز بتحولها إلى خلايا بالغة ملتهمة أيضاً macrophages والتي ستكون في حاجةٍ حينئذٍ إلى الحفاظ على شحنة الجسيمات النانوية. وبعد وصول

قشور النانو إلى مركز النخرية، فـإن الإضـاءة بالأشـعة تحـت الحمـراء- القريبـة تستخدم لتدمير الخلايا البالغة الكبيرة macrophages المصاحبة للورم.

وبما أنه من السهل ضبط قشور النانوو بصرياً لتصبح قادرة على امتصاص الضوء بالمنطقة القريبة أوالمجاورة تحت الحمراء، حيـث يوجـد امتصـاص بصـري منخفض المدى في النسـيج، فـإن عمليـة الاخـتراقِ باسـتخدام الإشـعاع وسـيلة الأمثل في علاج الأنسجة الأعمق. كما أنه قبل التعرض لأية إضاءة، فإن القشرة النانوية تكون خاملة داخل الخلية. وغالباً ما تتم عملية الإضاءة باستخدام أشـعة الليزر، وهذا الضوء يوجه إلى داخل القشرة النانويـة ويتحـول إلى حـرارة والـتي تزيد من درجة حرارة القشرة النانوية لما يزيد عن 30 درجة حـرارة مئويـة. وقـد أثبتت عملية العـلاج الاستئصـالي الضـوء حـراري القـائم علـى قشـور النـانو nanoshell-based photothermal ablation therapy نجاحاً في معالجة الفئـران التي تعاني من تقليص متورم ذات معدلات أعلى من 90٪.

التصوير الطبي الحيوي

وفرت تقنيات قشور النانو جودةٍ عاليةٍ في دقة الصورة بالإضافة إلى القدرة على التصوير الوظيفي الغير غازٍ للأنسجة imaging noninvasive functional of tissues بأسعارٍ زهيدةٍ. إلا أنه ولسوء الحظ، فإن التصوير الطبي لـيس بمتقـدمٍ جداً بسبب أنها (التقنيات) تعاني من ضعف الإشـارات البصـرية والاختلافـات الطيفية الخفية بين الأنسجة السـليمة والمريضـة. في حـين يوجـد اهتمـامٌ متزايـدٌ بالتقنيات البصرية ذات العوامل المتناقضة الخارجية الجديدة، والتي صـممت مـن أجل تحديد الدلائل الجزيئية الخاصة بالأورام السـرطانية، وذلـك بهـدف تحسـين حدود الاكتشاف والفعالية العلاجية للتصوير البصري.

الخصائص الكهروكيميائية المعززة

وتتحسن مؤشرات رامان السطحية المحسنة وعملية امتصاص الأشعة تحت الحمراء السطحية المسحنة كذلك بسبب مجموعةٍ سداسيةٍ محكمة الغلق وثنائية الأبعاد من قشور النانو a two dimensional hexagonal close-packed array of nanoshells ذات فجواتٍ نانويةٍ بين الجسيمات النانوية. وقد ساد المعتقد أن آلية التحسن المسيطرة هي كهرومغناطيسية، حيث توفر الركيزة التحسينات القوية، والمتمثلة في عملية الإشراق القصوى superradiance. وعملية الإشراق تلك هي مزاوجةٍ بين الأنظمة المتجاورة الرنانة والتي ينتج عنها تخميدٍ إشعاعيٍ محسنٍ enhanced radiative damping. ويسفر تأثير "قضيب البرق" عن التحسنات التي تحدث في المجال والتي تلاحظ مع منتصف صدى أو رنين الأشعة تحت الحمراء. ويحدث هذا التأثير عندما تصبح المعادن موصلاتٍ فعالةٍ ومن ثم تطلق حقلاً كهربائياً من داخل المعادن والتي تمثل القناة الموصلة للمجال الكهربائي إلى داخل الوصلة بين كل قشرة نانوية، مما يسفر عن إنتاج كثافاتٍ ميدانيةٍ هائلةٍ.

الأقفاص النانوية

تشير الأقفاص النانوية غير العضوية (Nanocage) إلى جسيمات الذهب النانوية المسامية الجوفاء والمرتبة في أحجامٍ تتراوح من 10 إلى 150 نانومتراً. ويتم إنتاج مثل تلك الجسيمات بواسطة تفاعل جسيمات الفضة النانوية مع حمض كلوروذهبيك ($H A Cl_4$)(chloroauric acid) في الماء المغلي. حيث أنه في حين امتصاص الجزيئات النانوية الذهبية للضوء في مطياف الضوء المرئي (عند 45 نانومتراً تقريباً)، تمتص الأقفاص النانوية الذهبية الضوء حينئذٍ في

المستويات القريبة من الاشعة تحت الحمراء (near-infrared)، حيث تمتص هناك الأنسجة الحيوية الكم الأقل من الضوء. ونتيجة أنها أيضاً متوافقةً ضوئياً، تمثل الأقفاص النانوية الذهبية مجالاً واعداً على سبيل أنها تمثل مادة تباينٍ في مجال التصوير الطبقي للتماسك البصري optical coherence tomography، والذي يستخدم التشتت الضوئي بطريقةٍ مشابهةٍ للموجات فوق الصوتية صورٍ حيويةٍ للأنسجةٍ ذات دقة الوضوح التي تقارب الميكرومترات القليلة. وتكون مادة التباين مطلوبةً لو أن لهذا الأسلوب القدرة على تصوير الأورام السرطانية في مرحلةٍ مبكرةٍ والتي تُعَدُ مرحلة القابلية للعلاج. هذا وتمتص الأقفاص النانوية الذهبية الضوء ثم تسخن بعد ذلك، مما يؤدي الى أنها تقتل الخلايا السرطانية المحيطة. كما وظفت مجموعة Xia، العاملة بجامعة واشنطن، والتي تمثل المخترع الأصلي للأقفاص النانوية، الأقفاص النانوية ذات الأجسام المضادة للسرطانات، ومن ثم استطاعوا ربط الأقفاص النانوية الذهبية بالخلايا السرطانية بصورةٍ خاصةٍ.

علم أمراض الكلى النانوي

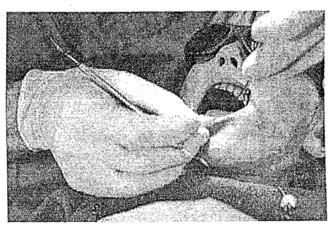
علم أمراض الكلى النانوي Nanonephrology هو أحد فروع طب النانو والتقانة النانوية والذي يتناول كلاً من: 1) دراسة بنيات بروتين الكلى على المستوى الذري، 2) مداخل وأساليب التصوير النانوي لدراسة العمليات الخلوية داخل خلايا الكلى، و3) العلاجات الطبية النانوية والتي تستخدم الجسيمات النانوية بالإضافة إلى معالجة مختلف أمراض الكلى. كما أن عملية تصنيع واستخدام المواد والأجهزة على المستوى الجزيئي والذري والتي تستخدم لتشخيص وعلاج أمراض الكلى تعد من مجالات علم أمراض الكلى النانوي

Nanonephrology والتي ستلعب دوراً فعالاًعلاج المرضى الذين يعانون من أمراض الكلى في المستقبل. هذا بالإضافة إلى أن الإنجازات المتقدمة في مجال علم أمراض الكلى النانوي ستُبنى على الاكتشافات في تلك المجالات السابق ذكرها والتي توفر معلومات نانوية حول الآلية الجزيئية الخلوية والمدمجة في عمليات الكلى الطبيعية بالإضافة إلى الحالات المرضية المختلفة. ومن خلال تفهم واستيعاب الخصائص الفيزيائية والكيميائية للبروتينات والجزيئات الماكرو الأخرى على المستوى الذري بالعديد من الخلايا المختلفة بالكلى، يمكن تصميم مدخلات علاجية جديدة لتتنافس في علاج أمراض الكلى الرئيسية. وتعد الكلى الصناعية النانوية هدفاً يحلم العديد من الأطباء بتحقيقه. وستسمح الإنجازات الهندسية النانوية المتقدمة بتصنيع الروبوتات النانوبة التي يمكن برمجتها والتحكم فيها والتي تهدف إلى تنفيذ وإنجاز إجراءاتٍ علاجيةٍ وبنائية داخل الكلى البشرية على المستويات الخلوية والجزيئية. كما أن تصميم الهياكل النانوية والمتوافقة مع خلايا الكلى والتي يكون لها القدرة على إجراء العمليات في الحيوية in vivo بصورةٍ سالمةٍ آمنةٍ يعد أيضاً هدفاً مستقبلياً يرجى تحقيقه. وهنا يجب ملاحظة أن القدرة على توجيه الأحداث على المستوى النانوي الخلوي لها الكفاءة والقدرة على تحسين حياة المرضى الذين يعانون من أمراض الكلى.

مستقبل واعد لتقنيات النانو في طب الأسنان

وهي الاعتماد على الذرات المتناهية في الصغر وبناء مواد وأدوات تستخدم في شتى المجالات، هي تقنية واعدة ومبشرة بنتائج وافكار خيالية لا حدود لها. وكتقنية حديثة، هناك العديد من الاستخدامات لها في كافة المجالات العلمية والصناعية والطبية التي تتراوح ما بين صناعة مواد تطبيقية وتطبيبية محدثة

المواصفات وذات جودة استخداماتية عالية واكثر تناسباً مع الحالات الفردية لكل مريض، ابتداء من الدواء وطرق نقله في الجسم الى المواد الترميمية المختلفة من جسم الانسان. وفي علم طب الاسنان تعتبر هذه التقنية حلما واقعا تم تحقيقه ومن استخداماته المتوفرة بين أيدينا الحشوات اللدائنية البيضاء (الحشوات التجميلية) والتي تستخدم في بعض زراعات الاسنان وتطبيقات اخرى بعضها واقع واخرى في طور التجارب.



شكل (15) طب الاسنان

في انجاز علمي في طب الاسنان، أفلح الباحثون في صنع مادة لترميم الاسنان مستفيدين في ذلك من تقنية النانو هو كلاس آينومر التي تزيد المادة تلك قوة ومتانة.

عن هذا الانجاز: أفضت الدراسات التي أجريت بشأن طرق الإفادة من تقنية النانو في طب الأسنان لانتاج تركيبات مؤثرة في مادة الترميم المعروفة باسم كلاس آينومر المستخدمة في حشو الاسنان. تحظى مادة النانو هذه بكيفية وجودة عالية مقارنة بسواها من مواد النانو. وتوكيدا على أنّ قوة ومتانة مادة النانو المار ذكرها تفوق الكلاس آينومرات المماثلة بنسبة تبلغ 30٪، وللافادة من تقنية النانو

تم اضفاء خصوصيات اخرى مثل الجمال، الحد من نسبة الذوبان، وجذب الفلورايد من أجل التوصل لنتائج أفضل.

وفي إشارة إلى انه سبق ان تم لاول مرة في صنع مادة كلاس آينومر الخاصة بالترميم، والتي تتألف هذه المادة الكيميائية من قسمين عضوي ومعدني وهي بشكل مسحوق وسائل. فهاتان المادتان تخلطان معاً، لتكونا خميرة متجانسة تزداد قوة واستحكاماً بواسطة الاشعة داخل حفرة السن. ان مادة الترميم هذه المصنوعة بمعزل عن تقنية النانو تمر الآن بمرحلة شبه صناعية ولم تبلغ حتى الآن مرحلة الإنتاج التجاري. ان الكلاس آينومرات مواد بيضاء تماثل الاسنان لوناً تفيد الاسنان المسوسة او المتآكلة بنسبة عالية.

(2) تطبيقات تقنية النانو على إلكترونيات الجزيئية

يختص علم الإلكترونيات الجزيئية (Molecular electronics)، (والذي يُطلق عليه في بعض الأحيان الأخرى moletronics)، بدراسة وتطبيق الكتل البنائية الجزيئية في تصنيع المكونات الإلكترونية المختلفة. وهذا يتضمن كلاً من التطبيقات الكتلية الخاصة بالبوليمرات الموصلة، والمكونات الإلكترونية مفردة الجزيء (Molecular scale electronics) لتقنية النانو.

يعد علم الإلكترونيات الجزيئية علماً تكاملياً حيث يمتد ليشمل فروع الفيزياء والكيمياء وعلم المواد. فمن سماته الموحدة الدامجة استخدام كتل البناء الجزيئي لتصنيع المكونات الإلكترونية. وهذا يشمل كلاً من المكونات غير الفعالة (مثل الأسلاك المقاومة) والفعالة والتي منها على سبيل المثال المقاحل (المقومات) والمحولات جزيئية القياس. ومن هنا، وبسبب توقع تقلص أحجام الإلكترونيات الذي تتيحه سمات وخصائص التحكم جزيئي المستوى، فقد أشارت

الإلكترونيات الجزيئية اهتماماً كبيراً بين أوساط العلماء. فالإلكترونيات الجزيئية تعني امتداد قانون مور إلى ما وراء الحدود الملموسة المشهودة لدارات السيليكون التقليدية صغيرة الحجم المتكاملة.

تنقسم الإلكترونيات الجزيئية إلى نظامين فرعيين مرتبطين ولكن منفصلين عن بعضهما البعض: فرع المواد الجزيئية للإلكترونيات والذي يستخدم خصائص الجزيئات للتأثير على الخصائص الكتلية للمادة، في حين يركز فرع الإلكترونيات الجزيئية الفردية على تطبيقات الجزيء المفرد.

(أ) الإلكترونيات الجزيئية الفردية

إلكترونيات جزيئية فردية(Molecular scale electronics)

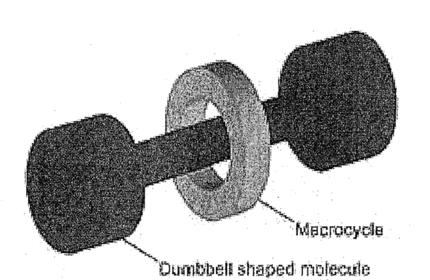
الإلكترونيات جزيئية القياس، أو ما يُطلق عليها كذلك الإلكترونيات الجزيئية الفردية، هي فرعٌ من فروع تقنية النانو التي تستخدم الجزيئات الفردية، أو التجمعات النانوية للجزيئات المفردة كمكونات إلكترونية. بما أن الجزيئات المفردة تشكل أصغر هياكل مستقرة من الممكن تخيلها، بالتالي فإن هذا التصغير هو الغاية القصوى للدوائر الكهربائية المنكمشة.

ونلاحظ أن الإلكترونيات التقليدية تم تصنيعها بالسبل المعتادة من المواد الصلبة. فمع القيود الملازمة لاستخدام خيار المواد الكتلية الصلبة، بالإضافة إلى زيادة الطلب عليها على نحوٍ متزايدٍ وغلائها، ولدت الفكرة الخاصة بأن المكونات يمكن عوضاً عن ذلك أن يتم إنتاجها ذرةً بذرةً في مختبر الكيمياء (طريقة من الأسفل إلى الأعلى)، وذلك بشكل مخالف لطريقة نحتها من المواد الكتلية الصلبة (طريقة من الأعلى إلى الأسفل). أي يتم استبدال المواد الصلبة الكتلية في الإلكترونيات الجزيئية المفردة بالجزيئات المفردة. ولهذا، فبدلاً من إنتاج

هياكلٍ بواسطة إزالة أو تطبيق المادة حسب النموذج المقترح، يتم تجميع الذرات معاً في مختبر الكيمياء. تكون للجزيئات المستخدمة خصائصاً تشبه المكونات الإلكترونية التقليدية والتي منها مثلاً: الأسلاك أو المقاحل أو المقومات.

يُعَدُ مجال الإلكترونيات الجزيئية الفردية مجالاً ناشئاً جديداً، وإن الدوائر الإلكترونية الكاملة والمكونة حصرياً من مكوناتٍ جزيئية الحجم ما زالت بعيدةً جداً عن مجال التحقيق. على الرغم من ذلك، فالطلب المستمر على المزيد من القوة الحاسوبية بالإضافة إلى القيود المتأصلة لطرق النقش (الطباعة الحجرية) الحالية يجعلان من عملية الانتقال حتميةً. ويتم التركيز حالياً على اكتشاف الجزيئات ذات الخصائص المثيرة بالإضافة إلى أنه يتم التركيز على سبل التمكين من إيجاد موصلات يعتمد عليها وثابتة الأداء بين المكونات الجزيئية والمادة الصلبة للأقطاب الكهربائية.

تقوم الإلكترونيات الجزيئية بعملها في عالم الكم (Quantum realm) لمسافةٍ أقل من 100 نانومتراً. حيث نلاحظ أن التصغير إلى الجزيئات الفردية يُخَفِّض من المقياس إلى نظامٍ تصبح فيه التأثيرات الكمومية هامة وضرورية. وعلى النقيض للوضع في حالة المكونات الإلكترونية التقليدية، حيث يمكن وضع الإلكترونات أو سحبها سواءً بشكلٍ كبيرٍ أو قليلٍ كتيارٍ مستمرٍ من الشحنات الكهربائية، فإن انتقال إلكترونٍ واحدٍ في الإلكترونيات الجزيئية يغير النظام بشكل كبير. مما يجعلنا نلاحظ أن كمية الطاقة الضرورية بسبب الشحن الكهربائي يجب أخذها بعين الاعتبار عند القيام بالحسابات المختلفة حول الخصائص الإلكترونية لعملية التصنيع.



شكل (16) توضيحي للروتاكسان، المستخدم كمقلادٍ (مبدالٍ) جزيئي.

ولعل أحد أكبر المشكلات القائمة حول اعتماد الجزيئات الفردية تتمثل في تأسيس اتصالٍ كهربائيٍ متكررٍ باستخدام جزيءٍ واحدٍ فقط والقيام بذلك بدون قطع الأقطاب الكهربائية. هذا ويُعَدُ تقانة الطباعة الحجرية الضوئية الحالية غير قادرةٍ على إنتاج فجواتٍ قطبيةٍ تكون صغيرةً بصورةٍ كافيةٍ للاتصال مع كلتا النهايتين للجزيئات المختبرة (التابعة للترتيب النانومتري) مما يدعو إلى استخدام استراتيجياتٍ بديلةٍ. تتضمن هذه الاستراتيجيات استخدام فجوات جزيئية الحجم التي يُطلق عليها وصلات كسرية (junctions break)، حيث يمكن مد قطب الرفيع حتى ينكسر. ومن الطرق الأخرى المستخدمة تتمثل في استخدام طرف مجهر مسحٍ نفقيٍ للاتصال بالجزيئات في النهاية الأخرى لركيزةٍ معدنيةٍ. هذا ومن السبل الشائعة الأخرى لتثبيت الجزيئات على الأقطاب تتمثل في استخدام الإلفة الكيميائية للكبريت إلى الذهب؛ وعلى الرغم من أنها مفيدةٍ، إلا أن التثبيت غير مخصصٍ ومن ثم يتم تثبيت الجزيئات عشوائياً على كل أسطح الذهب، خاصة أن مقاومة الإتصال (contact resistance) شديدة الاعتماد

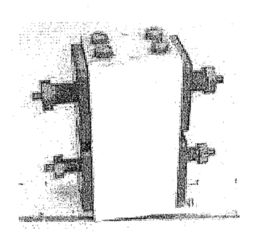
على التوزيع الهندسي للذرات حول موقع التثبيت وبالتالي تشكل الأساس لتكرارية الوصلة. ولإبطال القضية الأخيرة، أظهرت التجارب أن الفوليرينات تعد مرشحاً جيداً للاستخدام بدلاً من الكبريت بسبب نظام π المترافق، والتي لها القدرة على توصيل العديد من الذرات كهربائياً في وقتٍ واحدٍ بشكل أكبر من ذرة كبريت مفردةٍ.

إلا أن من أكبر العوائق للإلكترونيات الذرية الفردية ليتم نشرها تجارياً، هو النقص في أساليب اتصال دائرة جزيئية الحجم بالأقطاب الكهربائية الصلبة بطريقةٍ تسمح بنتائج تكراريةٍ. ومن المعضلات كذلك حقيقة أن بعض المقاييس على الجزيئات الفردية يتم تنفيذها في ظل درجات حرارة شديدة الانخفاض (التي تقارب الصفر المطلق) والتي تتصف بأنها مستهلكة كبيرة للطاقة.

(ب) المواد الجزيئية للإلكترونيات (البوليمرات الموصلة)

(X = NH/N S)   (X = NH, S)

بنى كيميائية لبعض البوليميرات الموصلة. من أعلى اليسار للأسفل مع اتجاه عقارب الساعة: عديد الأسيتيلين (Polyacetylene)؛ عديد بارافينيلين الفينيلين PPV، عديد البيرول (X= NH) وعديد الثيوفين (polythiophene) (X= S)؛ عديد الأنيلين (X= NH/N) وعديد كبريتيد الفينيلين (X= S) (polyphenylene sulfide).



شكل (17) مبدِّل جهد كهربائي، وهو جهاز إلكتروني جزيئي منذ عام 1974. مجموعة رقاقات مؤسسة سميثسونيان

المواد الجزيئية للإلكترونيات هي مصطلحٌ يُستخدم للإشارة إلى التطبيقات الكتلية للبوليمرات الموصلة. حيث تعتبر البوليمرات الموصلة، أو بصورةٍ أدق، البوليمرات الموصلة جوهرياً (ICP) بوليمرات عضويةٍ التي تتسم بالقدرة على توصيل الكهرباء في حالتها الصلبة. فمثل تلك المكونات قد يكون لها القدرة على التوصيل الفلزي للكهرباء أو قد تكون من أشباه الموصلات. وهنا تتمثل أهم ميزةٍ للبوليمرات الموصلة في قابليتها للمعالجة، وذلك بشكل أساسي بواسطة التشتت. هذا ولا تكون البوليمرات الموصلة عبارة عن لدائن، حيث أنها غير معالجة حرارياً، إلا أنها تكون بوليمرات عضويةٍ، مثل البوليمرات (العازلة). فهي تستطيع أن تظهر قدرةً عاليةً على توصيل الكهرباء إلا أنها لا تتسم بالخصائص الميكانيكية التي تظهر في البوليمرات الأخرى المتداولة تجارياً. كما يمكن صقل الخصائص الكهربائية بواسطة استخدام طرق التخليق العضوي وكذلك أساليب التشتت المتقدمة.

إن البنية المحورية الخطية للبوليمرات (عديد الأسيتيلين وعديد البيرول وعديد الأنيلين) والبوليمرات الشريكة (copolymers) الخاصة بهم تشكل

الطبقة الرئيسية للبوليمرات الموصلة للكهرباء. وبصورةٍ تاريخيةٍ، تُعْرَف تلك المواد على أنها الميلانينات. هذا وقد ظهر عديد فينيلين الفينيلين PPV ومشتقاته القابلة للانحلال والذوبان كبوليمرات نمطيةٍ ضيائيةٍ كهربائيةٍ شبه موصلةٍ للكهرباء. واليوم يعتبر عديد 3-ألكيل الثيوفين من مادة أصيلةً لنماذج الخلايا الشمسية والمقاحل (المقومات).

للبوليمرات الموصلة أسساً من مراكز الكربون المهجنة المتلامسة في المدار المجين (sp^2). إلكترون واحد تكافؤي يتموضع على كل مركز في مدار (p_z)، والذي يتسم بكونه متعامداً على روابط سيغما الثلاثة. كما أن الإلكترونات في تلك المدارات غير المتموضعة يكون لها قدرة عالية على الحركة عندما يتم تشويبها بالأكسدة، والتي تزيل بعضاً من هذه الإلكترونيات غير المتموضعة. ومن ثم، فنظام- p المترافق يشكل نطاقاً إلكترونياً، وأن الإلكترونات داخل هذا النطاق تصبح متحركةً عندما يتم تفريغها جزئياً. إلا أنه وعلى الرغم من الأبحاث المكثفة، فالعلاقة بين علم التشكل وبنية السلسلة البوليمر والقدرة التوصيلية للكهرباء ما زال يخيم عليها الغموض وغير مفهومةٍ بصورةٍ واضحةٍ حتى وقتنا هذا.

وفي النهاية، فإن للبوليمرات الموصلة عدداً قليلاً من التطبيقات كبيرة النطاق، وذلك بسبب ضعف القدرة المعالجية (أي إيجاد تطبيقات وعمليات معالجة ممكنة). حيث عُرِفَ عنها أنها واعدة مع المواد غير الساكنة كما أنه تم دمجها في وسائل العرض التجارية والبطاريات، إلا أن لها قيوداً بسبب تكلفة التصنيع وعدم توافق المواد المستخدمة والسمية وانخفاض قدرتها على الذوبان في المذيبات وعدم قدرتها على عمليات الصهر المباشرة. بيد أن البوليمرات الموصلة تتسم بأنها تجتذب الانتباه سريعاً في التطبيقات الجديدة إلى المواد ذات القدرة

المعالجية المتزايدة التي لها خصائصٌ فيزيائيةٌ وكهربائيةٌ أفضل بالإضافة إلى انخفاض تكلفتها. كما أنه ومع إمكانية إجراء تشتتات مستقرةٍ ومتكررةٍ تكاثريـة، اكتسب كلٌ من عديد(3،4- ثنائي أوكسي إيثيلين الثيوفين) (PEDOT) وعديد الأنيلين مجالاً كبيراً للتطبيقات واسعة النطاق. ففي أثناء استخدام (PEDOT) في مجال التطبيقات غير الساكنة وكطبقةٍ موصلةٍ شفافةٍ وذلك على شكل PEDOT:PSS (حيث يشير PSS إلى سلفونات عديد ستايرن الصوديوم Sodium polystyrene sulfonate، فإن عديد الأنيلين يتم استخدامه بصورةٍ واسعةٍ في تصنيع لوح الدائرة المطبوعة- في مراحلها الأخيرة، وذلك بهدف حماية النحاس من التآكل ومنع قدرتها اللحامية. إن الأشكال نانوية البنية الجديدة والخاصة بالبوليمرات الموصلة للكهرباء تفتح الباب لهذا المجال لتطبيقات لها مساحة سطحها أعلى وقدرة تشتتية أفضل.

في الاونة الاخيرة تم استخدام المواد النانوية وذلك بتطعيمها مع البوليمرات العازلة للحصول على بوليمرات مطعمة بمواد نانوية موصلة للكهرباء لتعطي بوليمرات اشباه موصلة أو موصلة جيدة. لقد دخلت هذه الانواع حيز التطبيق في مجالات الخلايا الشمسية البوليمرية والمتحسسات المختلفة الاستخدام.

(3) التطبيقات الاخرى

الكيمياء والبيئة

تلعب تقنية النانو دوراً واضحاً في كلٍ من عمليتي التحفيز الكيميائي وأساليب الترشيح. حيث توفر المركبات مواداً جديدةً ذات خصائص مصممة

وسمات كيميائية محددة: وعلى سبيل المثال؛ الجزيئات النانوية ذات البيئة الكيميائية المحيطة المميزة (ليجاندز)، أو الخصائص البصرية الخاصة. وذلك بمعنى أن الكيمياء تعد أحد العلوم النانوية الرئيسية. ومن أحد التوقعات قصيرة المدى في المجال نستطيع أن نقول أن الكيمياء ستوفر "مواداً نانويةً جديدةً"، اما على المدى البعيد، فإن العمليات الأرقى ومنها عملية "التجميع الذاتي" ستدعم من خطط واستراتيجيات تزفير الطاقة والوقت. بمعنى أن كل التركيبات الكيميائية يمكن فهمها من خلال مفردات تقنية النانو، نتيجة قدرتها على تصنيع جزيئات محددة. ومن ثم، تشكل الكيمياء قاعدةً أساسيةً لتقنية النانو والتي توفر الجزيئات المصممة خصيصاً، والبوليمرات بالإضافة إلى العناقيد والجسيمات النانوية.

التحفيز

يستفيد التحفيز الكيميائي بصورةٍ خاصةٍ من الجزيئات النانوية، بسبب ضخامة السطح إلى نسبة الكم. وتتراوح التطبيقات المحتملة للجزيئات النانوية في عملية التحفيز من خلايا الوقود إلى المحولات المحفزة والأجهزة التحفيزية الضوئية. كما تظهر أهمية التحفيز كذلك في إنتاج المواد الكيميائية.

وتعد جزيئات البلاتينيوم الآن الجيل التالي من المحولات المحفزة في السيارات وذلك بسبب أن مساحة سطح الجزيئات النانوية العالية جداً قد تقلص من كمية البلاتينيوم المطلوب. على الرغم من ذلك، فقد أُثيرت بعض المخاوف من التجارب التي تم إجرائها بسبب احتراقها تلقائياً لو اختلط الميثان بالهواء المحيط. في حين أن الأبحاث التي يجريها المركز القومي للبحث العلمي (NCRS) بفرنسا قد تسفر عن وضوح وتحديد الفائدة الحقيقية للتطبيقات المحفزة. هذا بالإضافة إلى أن الترشيح النانوي قد يعد من التطبيقات الهامة في المجال، ذلك

على الرغم من أن البحث المستقبلي يجب أن يكون حذراً تجاه استقصاء إمكانية السمية.

الترشيح

ترشيح نانوي

من المتوقع أن يظهر للكيمياء الضوئية تأثيراً قوياً على كلٍ من عمليات معالجة المياه المستعملة وتنقية الهواء بالإضافة إلى أجهزة تخزين الطاقة. حيث يمكن استخدام الطرق الميكانيكية أو الكيميائية في تطبيق أساليب الترشيح الفعالة. وتُبنى إحدى فئات أساليب الترشيح على استخدام الأغشية ذات أحجام ثقوبٍ ملائمةٍ، مما يسمح بضغط السائل عبر الغشاء. وتعد الأغشية المساميمة النانوية ملائمةً لعملية الترشيح الميكانيكي ذات المسام متناهية الصغرلما يقل عن 10 نانومترات (الترشيح النانوي) والتي قد تتكون من انابيب نانوية غشائية. ويستخدم الترشيح النانوي بصورةٍ رئيسيةٍ في عملية إزالة الأيونات أو فصل السوائل المختلفة. وعلى نطاقٍ أعرض، فإن أساليب ترشيح الأغشية يطلق عليها عملية الترشيح النانوي، والتي تعمل فيما بين أحجام تتراوح بين 10 و100 نانومتر. ولعل أحد المجالات الهامة لتطبيقات ترشيح نانوي يتمثل في الأغراض الطبية ومنها عملية الغسيل الكلوي. وتوفر الجزيئات النانوية المغناطيسية طريقةً معتمدةً وفعالةً لإزالة ملوثات المعادن الثقيلة من المياه المستعملة من خلال الاستفادة من أساليب الفصل المغناطيسي. وتزيد الجزيئات النانوية من كفاءة القدرة على امتصاص الملوثات بالإضافة إلى أنها بالمقارنة بطرق الترشيب والترشيح التقليدية تعد رخيصة التكلفة.

وتُعرض بالأسواق الآن بعضاً من الأجهزة المستخدمة لمعالجة المياه باستخدام تقانة النانو، إلا أن المزيد منها في طور التطوير والتنمية. وقد أثبتت دراسة حديثة أن طرق فصل الأغشية النانوية منخفضة التكلفة أنها فعالة في إنتاج المياه الصالحة للشرب.

جسيمات بلاتين نانوية

جسيمات البلاتين النانونية Platinum nanoparticles عادة ماتكون في شكل معلق أو مادة غروية وهي جسيمات بلاتينية يقل حجمها عن الميكرومتر في السائل؛ غالباً ما يكون الماء. ويعرف الجسيم الغرواني من الناحية الفنية على أنه الجسيم الذي يبقى معلقاً دون تشكيل محلول ذائب أو أيوني. والتعريف التجاري الأوسع "للبلاتين الغروي" يشمل المنتجات التي تحتوي على تركيزات مختلفة من البلاتين الأيوني، البلاتين الغروي، مركبات البلاتين الأيونية، أو جسيمات البلاتين النانونية في الماء النقي.

تتراوح أحجام جسيمات البلاتين النانونية ما بين (2-3) نانومتر. وتريليونات من جسيمات البلاتين النانونية قد علقت في المحلول الغروي الأحمر البني أو الأسود. والجسيمات النانوية لها طائفة واسعة المدى من الأشكال بما في ذلك المسطحات، العصويات، المكعبات، والقبعات.

ونظراً للخصائص المضادة للأكسدة لجسيمات البلاتين النانونية أصبحت مركز اهتمام الباحثين، لما لها من تطبيقات كبيرة في طائفة واسعة من المجالات بما في ذلك تقنية النانو، الطب، وتخليق مواد جديدة ذات خصائص فريدة من نوعها.

التخليق "التكوين"

يتمّ تصنيع جسيمات البلاتين النانونية عن طريق اختزال

هكساكلوروبلاتينات $[PtCl_6]^{2-}$. وبعد إذابة الهيكساكلوروبلاتينات، يتم تقليب المحلول سريعاً أثناء إضافة المادة المختزلة مما يسبب اختزال أيونات البلاتين ويحولها إلى ذرات بلاتين متعادلة. ولزيادة تكون تلك الذرات البلاتينية، يصبح المحلول مشبع لآخر استيعابه ومن ثم يبدأ البلاتين تدريجياً في الترسيب على هيئة جزيئات حجمها أقل من النانومتر. وآثار بقية الذرات التي تشكل البلاتين تلتصق بالجزيئات الموجودة وإذا تمّ تقليب المحلول بعنف وبشكل كافٍ، ستكون الجزيئات موحدّة إلى حد ما في الحجم. تم تطبيق العديد من الإجراءات للحصول على جسيمات البلاتين النانونية ويتضمن ذلك التسخين، التكثيف الارتجاعي "التكثيف الرادّ"، التبريد، التقليب، الترشيح والتعبئة، الفحص، الاختبار والتغليف. ولمنع الجزيئات من التجمع، يضاف عادة نوعاً من عوامل الاستقرار أو المثبتات والتي تلتصق بسطح الجسيم النانوي. ويمكن أن يتم توظيفها مع ليجندات "مرتبطات" عضوية مختلفة لخلق هجائن "عضوية مع غير عضوية" ذات تخصصية وظيفية متقدمة.

التأثيرات الحيوية

أسفر البحث الذي قام به "يوسي مياموتو" في جامعة طوكيو باليابان عن استخدام جسيمات البلاتين النانونية ذات الحجم (2-3) نانومتر لزيادة عمر الربداء الرشيقة "Caenorhabditis elegans" (أحد أنواع الديدان الإسطوانية).

وتتواجد الجسيمات النانوية في قضايا السلامة الممكنة طبياً وبيئياً على حدّ سواء ومعظم هذه القضايا عادة ما تنشأ نتيجة لارتفاع النسبة ما بين السطح والحجم مما قد يجعل جزيئات بعض المعادن شديدة التفاعلية أو حفّازة. وعلى وجه الخصوص فإن استنشاق الجزيئات النانوية يُشكّل مخاطر صحية وقد يسبّب

التهابـات وأمـراض في الرئـة. حيـث أن لـديها القـدرة علـى اخـتراق الأغشـية البلازمية في الكائنات الحية ويعتبر تفاعلها مع النظم الحيوية غير معروف نسـبياً. ومع ذلك تميل الجزيئات النانوية الحرة في البيئة بشكل سريع إلى التكتل وبالتـالي تترك النظام النانوي، وتعرض الطبيعة نفسها العديد من الجسيمات النانوية والتي ترفع من مناعة "حصانة" الكائنات الحية على الأرض (مثل الجسيمات الملحية مـن الهباء الجوي للمحيطات، التربينـات مـن النباتـات، أو الغبـار مـن الانفجـارات البركانية).

اسلاك جزيئية

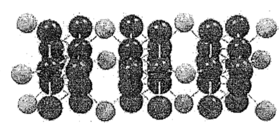
تُمَثِّل الأسلاك الجزيئية (Molecular wires)، والمعروفة في بعض الأحيان على أنها ألأسلاك النانوية الجزيئية (molecular nanowires)، أجسـاماً جزيئيـة الحجم لها القدرة على توصيل التيار الإلكتروني. ومن هنا فهي تجسد حجر البناء الأساسي للأجهزة الإلكترونية الجزيئية. هذا وتقل أقطارها النموذجية عن ثلاثـة نانومترات، في حين قد تكون أطوالها ماكروية الطول، حيث تمتد إلى سـنتيمترات أو أكثر.

المواد

تكونت معظم الأعمال المرتبطة حتى وقتنا هـذا مـن الجزيئـات العضـوية. حيث تنبثق الكفاءات التوصيلية العالية من الأنظمة بالغة التوافق، حيـث تتمثـل أهمية سلاسل الألكـان في تفهـم واسـتيعاب عمليـة انتقـال الشـحنة الأساسـية والنفقية (tunneling). هذا ونلاحظ أن السلك الجزيئي المتكون في الطبيعـة هـو الحمض النووي (DNA). كما تشتمل بعض الأمثلة غير العضوية البـارزة علـى المواد البوليمرية والتي منهـا $Se_6Mo_2Li_6$ و$I_{x-9}S_6Mo_x$، بالإضـافة إلى السلاسـل

الذرية المعدنية الممتدة أحادية الجزيء (extended metal atom chain) والتي تُشَكِّل خيوطاً من ذرات الفلزات الانتقالية والمرتبطة مباشرةً مع بعضها الآخر. مما يجعل من الأسلاك الجزيئية المشتملة على الأجزاء (الشظايا) غير العضوية المغناطيسية المسايرة (البارامغناطيسية) مجالاً ممتعاً ومثيراً، على الأخص بسبب أنها قد تؤدي إلى ملاحظاتٍ نقاط ذروة كوندو (Kondo effect).

البنية التركيبية



شكل (18) تركيب سلك $I_{x-9}S_6Mo_x$ الجزيئي. حيث يشير اللون الأزرق إلى ذرات الموليبدنوم، ويشير اللون الأحمر إلى ذرات اليود، في حين تشير الكريات الصفراء إلى ذرات الكبريت

وعلى عكس غالبية الأسلاك النانوية الشائعة (والتي تتكون من بلورات شديدة الصغر)، فإن الأسلاك الجزيئية النانوية تتكون من وحداتٍ جزيئيةٍ متكررةٍ، والتي قد تكون إما عضوية (كالحامض النووي) أو غير عضويةٍ (مثال ذلك: $I_{x-9}S_6Mo_x$). ففي حالة الحمض النووي مثلاً، تتمثل الوحدات المتكررة في النوويد أو النيكليوتيد مع عمودٍ فقريٍ مكون من السكريات ومجموعات الفوسفات والمرتبطة معاً بروابط الإستر. فالارتباط بكل جزيء سكر يمثل واحداً من أربعة أنماطٍ من القواعد. أما في حالة $I_{x-9}S_6Mo_x$، تكون الوحدات المتكررة عبارة عن كتل $I_{x-9}S_6Mo_x$، والتي ترتبط مع بعضها البعض بواسطة جسور الكبريت المرن أو اليود. هذا وغالباً ما تتجمع الأسلاك النانوية الجزيئية في

المحلول داخل الحزم أو الحوامل. ففي حالة هاليدات كالكوجينيد الموليبدنوم، فإنها تنمو في صورة ضفائرٍ مرتبةٍ، والتي فيها ترتبط الضفائر المفردة بواسطة قوى فان دير فالس الضعيفة جداً.

نقل الإلكترونات

عُرِفَ عن الأسلاك الجزيئية أنها توصل الكهرباء.حيث أنها تتسم بتمتعها بخصائص جهد- التيار غير الخطي، بالإضافة إلى أنها لا تُعَدُ من الموصلات الأومية (ohmic) البسيطة. وهنا تتبع المواصلة الكهربائية (عكس المقومة الكهربائية) أداء أو سلوك قانون القوة النموذجي كوظيفةٍ دالةٍ للحرارة أو المجال الكهربائي، والذي مع تعاظم أمره، فإنه نابع من خاصية البعد الأحادي القوية. هذا وقد استُخْدِمَت العديد من الأفكار النظرية في محاولةٍ لفهم الكفاءة التوصيلية للأنظمة أحادية البعد، حيث تؤدي التفاعلات القوية فيما بين الإلكترونات إلى عمليات رحيلٍ من الأداء (سائل فيرمي (Fermi liquid)) الفلزي المعدني. ومن تلك الأفكار الهامة ما قدمه كلٌ من سين توموناجا، لوتينغر (Luttinger) ويوجين ويغنر. كما أُكْتُشِفَت أهمية التأثيرات التي تخلفها عملية تنافر كولومب التقليدية (والتي يُطلق عليها حصار كولومب (Coulomb blockade) في تحديد خصائص الأسلاك الجزيئية.

استخدام الأسلاك النانوية في تقنية الإلكترونيات الجزيئية

ولتصبح مفيدةً في توصيل الجزيئات معاً، تتطلب الأسلاك الجزيئية أن تُظْهِر بعض الخصائص الهامة. حيث يجب أن تكون الموصلات فيما بين العناصر قادرةً على التجمع ذاتياً متبعةً بذلك طرقاً محددةً جيداً بالإضافة إلى قدرتها على تشكيل توصيلاتٍ كهربائيةٍ فعالةٍ فيما بينها كذلك. ولتتجمع ذاتياً بصورةٍ

متكاثرةٍ مشكلةً دائرةً معقدةً مبنيةً على الجزيئات المفردة، فمن الضروري أن تكون للموصلات التي تجمعهم معاً القدرة على إعادة التعريف. حيث أنها يجب أن تكون قادرةً على الاتصال بالعديد من المواد، والتي منها الأسطح المعدنية الذهبية (في حالة الوصلات بالعالم الخارجي)، الجزيئات الحيوية البيولوجية (في حالة المستشعرات النانوية، الأقطاب الكهربائية النانوية (الإلكترود النانوي)، والمحولات الجزيئية)، بالإضافة إلى الخاصية الأكثر أهمية والمتمثلة في ضرورة سماحها بالفرصة على التفرع والتشعب. هذا ويجب توفير تلك الموصلات كذلك لمقاييسٍ وأطوالٍ تم تحديدها مسبقاً. حيث أنها يجب أن يكون لها رابطةٌ تساهميةٌ لضمان الانتقال التكاثري وخصائص الاتصال. للجزيئات الشبيهة بالحامض النووي تمييزٌ جزيئي خاص ويمكن استخدامها بفعاليةٍ في تصنيع السقالات الجزيئية. كما تم تقديم بعض النماذج شديدة التعقيد مؤخراً، إلا أن الحمض النووي المغلف بالمعدن والذي يتسم بقدرته على التوصيل الكهربائي يتسم بأنه أكثر سماكةٍ لدرجة عدم قدرته على الاتصال بالجزيئات المفردة. في حين يفتقر الحمض النووي ذو غلافٍ أكثر رقةٍ إغلى قدرته على توصيل التيار الكهربائي، بالإضافة إلى أنه مناسباً لتوصيل عناصر الإلكترونيات الجزيئية. هذا بالإضافة إلى أن بعض الأنابيب النانوية الكربونية تتسم بأنها موصلة للتيار الكهربائي، مما يجعل من الممكن تحقيق قدرتها على التوصيل في نهاياتها من خلال اتصالها بالمجموعات الموصلة. إلا أنه ولسوء الحظ فمن المستحيل تصنيع أنابيب نانوية كربونية بمثل تلك الصفات السابقة في وقتنا الحاضر، هذا بالإضافة إلى أن نهاياتها الطرفية الوظيفية ليست بموصلةٍ للتيار الكهربائي، مما يحجم من أهميتها وفائدتها كموصلاتٍ جزيئيةٍ. هذا ويمكن لحام الأنابيب النانوية الكربونية في المجهر الإلكتروني، إلا أن الاتصال ليس بتساهمي ولا يمكن أن يكون ذاتي التجميع. إلا أنه تم توضيح مؤخراً بعض السبل المتاحة لتكوين دوائرٍ وظيفيةٍ

أكبر حجماً باستخدام أسلاك $I_{x-9}S_6Mo_x$ الجزيئية، سواءً بواسطة استخدام جسيمات الذهب النانوية كروابطٍ، أو عبر الاتصال المباشر بجزيئات الثيول. حيث قد يؤدي كلا الأسلوبين إلى تطبيقاتٍ احتماليةٍ مختلفةٍ. فاستخدام استراتيجية الجسيمات الذهبية النانوية يسمح بإمكانية تفريع، تشعبٍ وتركيب دوائرٍ أكبر حجماً.

استخدامات أخرى

يمكن دمج وإتحاد الأسلاك الجزيئية ضمن البوليمرات، مما يعزز من خصائصها الموصلة و/ أو الميكانيكية. مما يجعل تعزيز تلك الخصائص قائماً على التشتت الموحد لتلك الأسلاك ضمن البوليمر المضيف. مما أسفر عن وقوع بعض صور التقدم الحديثة في مجال استخدام أسلاك موليبدنوم السيليكون (MoSi) في مثل تلك المركبات، وذلك اعتماداً على قدرتها الفائقة على الذوبان في البوليمر المضيف مقارنةً بالأسلاك النانوية أو الأنابيب النانوية الأخرى. كما يمكن استخدام حزمٍ من الأسلاك لدعم وتعزيز الخصائص الاحتكاكية للبوليمرات، مع إتاحة التطبيقات في كلٍ من المحركات ومقاييس الجهد.

الطاقة

تطبيقات الطاقة لتقنية النانو

وتتمثل أكثر المشروعات تقدماً والمرتبطة بمجال الطاقة في: التخزين، التحويل، تحسينات التصنيع بالإقلال من المواد المستخدمة ومعدلات العملية التصنيعية، توفير الطاقة (من خلال أفضل طريقة للعزل الحراري)، وكذلك توفير مصادر متجددة للطاقة.

تقليص استهلاك الطاقة

يمكن التوصل إلى تقليصٍ أقلٍ للطاقة من خلال تطبيق أفضل لأساليب العزل، وذلك من خلال استخدام الإضاءة الكافية أو أساليب الإحراق، بالاضافة إلى استخدام مواد أقوى إضائياً لاستخدامها في قطاعات النقل. وتحول اللمبات الضوئية المستخدمة حالياً نحو 5٪ فقط من الطاقة الكهربائية إلى ضوء. إلا أن الأساليب التقنية النانوية ومنها المصباح الثنائي الباعث للضوء والتي يرمز لها بـ (LED) أو الذرات المحددة كمياً والتي يرمز لها بالرمز (QCA) قد تؤدي إلى ترشيد استهلاك الكهرباء لأغراض الإضاءة.

زيادة كفاءة إنتاج الطاقة

تحتوي أفضل الخلايا الشمسية المستخدمة في يومنا هذا على طبقاتٍ للعديد من أشباه الموصلات المكدسة معاً وذلك بهدف امتصاص الضوء في صورٍ عدةٍ للطاقة، إلا أنها ما زالت مصنعةً بأسلوب لا يسمح سوى باستخدام 40٪ فقط من طاقة الشمس. وللخلايا الشمسية المتوافرة حالياً كفاءاتٍ منخفضةٍ تتراوح بين (15-20 ٪). إلا أن تقنية النانو قد تساعد على زيادة كفاءة تحول الضوء من خلال استخدام الهياكل النانوية ذات استمرارية من الحزم ذات الفجوات. كما وصل درجة كفاءة محرك الاحتراق الداخلي لما يتراوح بين 30- 40٪ في الوقت الحالي. إلا أن تقنية النانو قد تحسن من معدل الاحتراق من خلال تصميم محفزاتٍ خاصةٍ ذات مساحة سطحية أعظم. ففي عام 2005، قام العلماء بجامعة تورنتو بتطوير مادة جزيئية نانوية قابلة للرش والتي عندما تتم رشها على السطح، تحوله في التو واللحظة إلى مجمع للطاقة الشمسية.

وتتمثل إحدى نماذج الطاقة الودودة للبيئة في استخدام خلية وقود تشتعل بواسطة الهيدروجين، والتي تنتج بصورةٍ مثاليةٍ من الطاقات المتجددة. ولعل أفضل مادة نانوية مستخدمة بخلية الوقود تتمثل في المحفز المكون من جزيئات المعادن النبيلة المدعومة بالكربون ذات قياسات 1-5 نانومتر. وتحتوى المواد المناسبة لتخزين الهيدروجين على عدد ضخم من المسام النانوية الصغيرة. ومن ثم يتم الاستفادة من العديد من المواد النانوية ومنها الأنابيب النانوية والزيولايت والألانيت في مجال البحث والتحقيق. كما قد تساهم تقنية النانو في زيادة تقليص الملوثات المنبعثة من محرك الاحتراق من خلال استخدام مرشحات المسام النانوية، والتي تستطيع تنقية وتنظيف العوادم ميكانيكياً من خلال المحولات المحفزة والقائمة على جزيئات المعادن النبيلة النانوية أو من خلال المغلفات المحفزة على جدران الاسطوانة والجزيئات النانوية المحفزة والتي قد تستخدم كذلك كإضافاتٍ للوقود.

إعادة تدوير البطاريات

بطارية نانوية

نتيجة قلة كثافة الطاقة بالبطاريات بصورةٍ نسبيةٍ فإن وقت التشغيل محدود بالإضافة إلى الحاجة إلى إعادة الإحلال أو الشحن مرةً أخرى. هذا بالإضافة إلى أن العدد الضخم للبطاريات والمجمعات المستنفذة تخلق مشكلةً في التخلص منها. ومن ثم فإن استخدام البطاريات ذات كمية الطاقة الأعلى بداخلها أو تلك القابلة لإعادة الشحن مرةً أخرى أو حتى استخدام المكثفات الفائقة ذات معدلات إعادة الشحن العالية باستخدام المواد النانوية قد تكون مفيدة بصورةٍ واضحةٍ لحل مشكلة التخلص من البطاريات المستهلكة.

تقوم عمليات إنتاج التقنية العالية حالياً على الاستراتيجيات التقليدية من أعلى إلى أسفل، حيث تم تقديم ودمج تقانة النانو بصورةٍ صامتةٍ. ويصل مقياس الطول الحرج للدوائر المتكاملة إلى 50 نانومتر فما أقل مراعاةً لطول البوابة الخاص بالترانزستورات في أجهزة وحدات المعالجة المركزية أو دي رام (DRAM).

تخزين الذاكرة

اعتمدت تصميمات الذاكرة الإلكترونية فيما مضى على بنية الترانزستورات. إلا أن البحث في مجال الإلكترونيات القائمة على شكل أنبوب crossbar switch قد وفرت بديلاً من خلال استخدام الربطات الداخلية المعاد تشكيلها فيما بين حزم وصفائف الأسلاك العمودية والأفقية وذلك بهدف إنتاج ذاكرة مرتفعةً الكثافة. وتعد كلٌ من شركة نانتيرو والتي قامت بتطوير الذاكرة العريضة القائمة على الأنابيب النانوية الكربونية والتي تسمى ذاكرة الوصول العشوائي النانوية بالإضافة إلى شركة هوليت- باكارد والتي اقترحت استخدام مواد ممرستور في عملية إحلالٍ مستقبليٍ لذاكرة الفلاش.

أجهزة أشباه الموصلات الجديدة

اعتمدت إحدى تلك الأجهزة المستخدمة حديثاً على حقل البحث التجريبي الفيزيائي الدوران الإلكتروني. حيث يُطلق على اعتماد مقاومة المادة (بسبب دوران الإلكترونيات) على المجال الخارجي المقاومة المغناطيسية. وقد يتم تضخيم ذلك التأثير بصورةٍ كبيرةٍ (المقاومة المغناطيسية الهائلة) في حالة الأجسام النانوية، على سبيل المثال كما هو الحال عندما يتم فصل طبقتين من الحديد

المغنط باستخدام طبقة نانوية مغناطيسية، والتي يتسم سمكها بأنه نانوي المقياس ومنها (Co-Cu-Co). وقد أسفرت المقاومة المغناطيسية الهائلة (GMR) عن زيادة قوية في كثافة تخزين البيانات على الأقراص الصلبة وأتاحت الفرصة لاستخدام مدى الجيجا بايت. ويعد نفق المقاومة المغناطيسية (TMR) شبيه الحال بدرجةٍ كبيرةٍ بالمقاومة المغناطيسية الهائلة (GMR) وهو قائم على النفق الناتج من دوران الإلكترونات عبر الطبقات الحديدية الممغنطة المتجاورة. وقد تستخدم نتائج وتأثيرات كلاً من GMR وTMR في إنتاج ذاكرة كمبيوترية غير متقلبة، ومنها ما يطلق عليه ذاكرة الوصول العشوائي المغناطيسية أو MRAM.

ففي عام 1999 أُختُبِر ترانزستور سيموس، والذي طُور بمعمل الإلكترونيات وتكنولوجيا المعلومات بغرينوبل بفرنسا، حدود المباديء الخاصة بترانزستور موسفت ذات قياس 18 نانومتر (والتي وصلت إلى 70 ذرة تقريباً وضعت بجانب بعضها البعض). حيث كان حجم ذلك الترانوستور غالباً عُشر حجم أصغر ترانزستور صناعي صُنع عام 2003م (130 نانومتر عام 2003، 90 نانومتر في 2004، 65 نانومتر في 2005، و40 نانومتر في 2007). حيث مكَّن التكامل النظري لسبعة بلايين تقاطعٍ على عملة الواحد جنيه إسترليني. في حين لم تكن صناعة ترانزستور سيموس والذي صُنع عام 1999 بالتجربة البحثية البسيطة لدراسة كيفية أداء تقانة سيموس لوظيفتها، إلا أنها كانت بالأحرى تجربةً لكيفية أداء تلك التقانة لوظيفتها الآن حيث أننا استطعنا التغلب بصورةٍ أقرب إلى المطلوب في مجال العمل على الصعيد الجزيئي. حيث سيكون من المستحيل التمكن من التجمع المنسق لعددٍ كبيرٍ من هذه الترانزستورات في دائرةٍ واحدةٍ كما أنه سيكون من المستحيل كذلك صناعة مثل تلك الدائرة على الصعيد الصناعي.

الأجهزة البصرية الإلكترونية الجديدة

تحل الأجهزة البصرية أو الإلكترونية البصرية محل الأجهزة التناظرية الإلكترونية التقليدية في تقنية الاتصالات الحديثة نتيجة عرض نطاقها الترددي وتزايد قدرتها وكفاءتها على التوالي. من الأمثلة الواعدة في المجال كلّ من البلورات الضوئية والنقاط الكمومية. حيث تعد البلورات الضوئية مواداً ذات اختلافٍ دوريٍ في مُعامل الانكسار مع شعريةٍ ثابتةٍ يصل طولها إلى نصف الطول الموجي للضوء المستخدم. مما يجعلها تسمح بتوفير وعرض فجوةٍ حزميةٍ اختياريةٍ لانتشار طول موجة محدد، ومن ثم فهي تتشابه مع شبه الموصلات، ولكن في مجال الضوء أو الفوتونات بدلاً من الإلكترونيات. في حين تعد النقاط الكمومية أجسام نانوية والتي يمكن استخدامها فيما بين العديد من الأشياء الأخرى لإنتاج أشعة الليزر. وتتسم ميزة استخدام ليزر النقاط الكمومية عن ليزر شبه الموصل التقليدي في أن طول الموجة المنبعثة يعتمد على قطر النقطة. كما أن الليزر المنتج بواسطة النقاط الكمومية يكون أرخص بالتكلفة ويوفر جودة إشعاع أفضل وأعلى من ثنائيات الليزر التقليدية.

عروض

قد نستطيع التوصل إلى إنتاج العروض المختلفة باستهلاك أقل قدر ممكن من الطاقة باستخدام الأنابيب النانوية الكربونية (CNT). وتعهد الأنابيب النانوية الكربونية موصلة للكهرباء وبسبب صغر قطرها الذي يصل إلى بضعة نانومترات، يمكن استخدامها كمجال بواعث ذات كفاءة عالية بدرجة قوية لعروض انبعاث المجال (FED). ويتمثل مبدأ العملية في ذلك الخاص بأنبوب الأشعة المهبطية، ولكنه أصغر بكثير على كقياس الطول.

حاسوب كمومي

الحاسوب الكمومي تستفيد كل عمليات الحوسبة حالياً من قوانين الآلات الكمومية بهدف تصنيع الكمبيوتر الكومي، والتي تمكن من استخدام الخوارزميات الكمومية السريعة. وتتوافر بأجهزة الكمبيوتر الكمومي مساحة ذاكرة بالبايت الكمومي والتي يطلق عليها "كـ بايت" والتي تستخدم في إجراء العديد من العمليات الكمبيوترية في الوقت ذاته. ومن ثم فقد تحسن مثل تلك الإمكانية الجديدة من أداء الأنظمة الحاسوبية.

الصناعات الثقيلة

تتمثل الاستفادة الحتمية من تقنية النانو في مجال الصناعات الثقيلة.

الفضاء

ستمثل المواد الأخف والأقوى فائدةَ هائلةً في مجال تصنيع الطائرات، مما يزيد من كفاءة الأداء. كما ستستفيد مركبات الفضاء من تلك المواد حيث يلعب الوزن عاملاً حيوياً. كما ستساعد تقانة النانو من تقليص حجم المعدة ومن ثم تقليص استهلاك الوقود المطلوب لتحليقها في الجو.

ولربما يسفر استخدام تقنية المواد النانوية عن تقليل وزن الطائرة بدون محرك إلى النصف تقريباً في حين يتم زيادة قوتها ومتانتها. هذا بالإضافة إلى أن تقانة النانو تقلل من كتلة المكثفات الفائقة والتي ستستخدم بصورةٍ متزايدةٍ في توفير القوة للمحركات الكهربائية المساعدة وذلك بهدف إقلاع الطائرة بدون محرك عن الأرض المنبسطة إلى التحليق في الأجواء العالية.

الإنشاءات

لتقنية النانو القدرة على زيادة معدل الإنشاءات وجعلها عمليةً أسرع وأرخص وأكثر تنوعاً. حيث قد تسمح عملية التشغيل الآلي لتقنية النانو للإنشاءات إلى إنشاء هياكلٍ وبناياتٍ تتنوع من المنازل المتقدمة إلى ناطحات السحاب الهائلة وذلك بصورةٍ أسرع وبتكلفةٍ أقل بكثير.

المصافي

نتيجة استخدام تطبيقات تقانة النانو، ستكون للمصافي المنتجة للمواد ومنها الصلب والألومونيوم القدرة على إزالة والتخلص من أية شوائبٍ في المواد التي تقوم إنتاجها.

تصنيع المركبات

تماماً كما هو الحال في مجال تصنيع مركبات الفضاء، فإن المواد الأخف والأقوى تمثل مصدر إفادة كبيرة في تصنيع المركبات والسيارات والتي تتسم بأنها أسرع وأأمن. كما تستفيد محركات الاحتراق من الأجزاء التي تتسم بالصلابة والمقاومة للحرارة.

استهلاك السلع

تؤثر تقنية النانو بالفعل في وقتنا الحاضر على مجال استهلاك السلع المختلفة، حيث توفر منتجاتٍ ذات وظائفٍ جديدةٍ تتراوح من السهلة- إلى النظيفة- إلى المقاومة للخدش. حيث تقوم المنسوجات الجديدة الانكماش بالنظافة إلى أنها طاردة للبقع؛ حيث تصبح الملابس بالمعنى المتوسط "ذكية"، وذلك من خلال دمج "إلكترونيات قالبة للارتداء". وتتوافر في متناول الاستخدام بالفعل

العديد من السلع المحسنة باستخدام الجزيئات النانوية. وبخاصةٍ في مجال مستحضرات التجميل، حيث أن للمنتجات الجديدة قدراتٍ واعدةٍ في مجال الاستهلاك.

الأغذية

توفر تقنية النانو حلولاً لمجموعةٍ مركبةٍ من التحديات الهندسية والعلمية في مجال الأغذية والصناعة الحيوية لتصنيع أغذية آمنة عالية الجودة من خلال استخدام وسائل لها القدرة على التحمل. وتعد عمليات ضبط جودة الأغذية والتعرف على البكتريا باستخدام المستشعرات الحيوية ومنها؛ أنظمة حفظ الغذاء الذكية والنشطة؛ وكذلك عملية التغليف النانوية لمكونات الأغذية أمثلةً قليلةً لعمليات دمج التقنية النانوية في مجالات تصنيع الأغذية. ومن ثم يمكن تطبيق تقنية النانو في مجالات إنتاج وتجهيز وسلامة وتعبئة الأغذية. حيث قد تحسن عملية التغطية والتغليف باستخدام المكونات النانوية في تحسين تعبئة الغذاء من خلال إضافة عوامل مضادة للبكتريا مباشرةً على سطح الشريط المغلِف. كما قد تزيد المكونات النانوية أو تقلل من عملية نفاذ الغاز في طبقات الحشو المختلفة وفقاً لما هو مطلوب في المنتجات المختلفة. هذا بالإضافة إلى أنها تحسن من خصائص المقاومة للحرارة والخصائص الميكانيكية كذلك كما أنها تقلص من معدل انتقال الأوكسجين. وتجرى العديد من الأبحاث بهدف تطبيق تقنية النانو في عملية الكشف عن المواد الكيميائية والحيوية لـ (sinsanges) في الإغذية المختلفة.

الأغذية النانوية

تعد عملية إنتاج الأغذية الجديدة ضمن مجال المنتجات الاستهلاكية القائمة

على تقنية النانو والتي تظهر بالأسواق بمعدل من 3 إلى 4 سلع أسبوعياً، وهذا بناءً على ما أورده مشروع تقنية النانو الناشئة (PIN)، والذي اعتمد في تقريره هذا على جَردٍ أُجري على نحو 609 منتج نانوي سواءً معروف أو مزعوم.

وتتضمن قائمة (PIN) ثلاثة أطعمة- وهي نوعاً من زيوت الكانولا ويطلق عليه (كانولا أكتف أويل)، ونوعاً من الشاي يطلق عليه (نانو تي) بالإضافة إلى موجةٍ من شكولاته الحمية يطلق عليها (نانوسيوتيكال سليم شيك شوكلات).

وبناءً على معلوماتٍ لشركةٍ نشرتها على موقع (PIN) الإلكتروني، فإن زيت كانولا والذي تنتجه شركة شيمن الصناعية يحتوي على مادةٍ مضافةٍ تسمى "نقاط نانوية" والتي صممت لحمل الفيتامينات والمعادن والمواد الكيميائية النباتية عبر الجهاز الهضمي واليوريا.

كما أنه بناءً على معلوماتٍ من مصنع شركة "آر بي سي علوم الحياة" الأمريكية الصناعية، فإن الموجة تستخدم مكسب الكوكا "كتل نانوية" بهدف دعم وتحسين المزاق والفوائد الصحية للكوكا بدون الحاجة إلى إضافة المزيد من السكر.

تقنية النانو في مجال الغذاء

إن "الغذاء النانوي" أوnanofood تعبير يطلق على الغذاء الذي استعمل في إنتاجه أو في إي مرحلة من مراحل إنتاجه تقنية النانو، وبعبارة أخرى هو الغذاء الذي يتم إستخدام تقنية النانو في زراعته أو معالجته أو تغليفه. وحالياً يعتبر التغليف إحد أكثر التطبيقات العملية لتقنية النانو حيث يتم فيها إستعمال جسيمات النانو طين (Nanoclay) في صنع أغلفة بلاستيكية قوية وخفيفة

ومقاومه للحرارة وقادرة على منع الأوكسجين وثاني أكسيد الكاربون من الدخول وإفساد الأطعمة، وإضافة الى ذلك يتم تطبيق تقنية النانو ايضاً لصنع تغليف خاص مقاوم للمكروبات والبكتيريا.

وتسعى شركات الغذاء لتطبيق التقنيات الحديثة مثل تقنية النانو من أجل انتاج افضل للمحاصيل الزراعية، حيث يعتقد العلماء إن إستخدام تقنية النانو سيساعد شركات الغذاء على إنتاج مواد غذائية خالية من أضرار المواد الحافظة واقل كذلك ثمناً مما هي عليه اليوم، وذلك من خلال إستخدام اقل للمواد الكيميائية في تحضير وإنتاج المواد الغذائية مستقبلاً. وهناك بعض المنتجات أنتجت عن طريق تقنية النانو ومثل هذه المنتجات موجودة في بعض أنواع الغذاء مثل بعض أنواع العصائر، ومن المتوقع أن تساهم تقنية النانو في تحقيق تقدم في كثير من مجالات الزراعة والغذاء والطاقة وكذلك توفير الماء النقي،تعتبر هذه التقنية حديثة على المستوى العالمي.

الأدوات المنزلية

لعل أشهر تطبيقٍ لتقنية النانو في مجال الأدوات المنزلية هو التنظيف الذاتي أو الأسطح "سهلة التنظيف" على السيراميك أو الزجاج. حيث حسنت جزيئات السيراميك النانوية من نعومة ومقاومة الحرارة للأجهزة المنزلية العامة ومنها المكواة.

البصريات

تتوافر بالأسواق الآن أول نظارةٍ شمسيةٍ تستخدم طلاءات البوليمر الرقيقة جداً والحامية والمضادة للانعكاس. كما توفر تقنية النانو في مجال البصريات طلاءات سطحية مقاومة للخدش باستخدام مكوناتٍ نانويةٍ. هذا

بالإضافة إلى أن بصريات النانو قد تسمح بزيادة دقة تصحيح بؤبؤ العين والأشكال الأخرى من جراحات ليزر العين.

الأنسجة

تستخدم الألياف النانوية بالفعل في تصنيع أقمشةٍ طاردةٍ للمياه والبقع بالإضافة إلى كونها مقاومة للانكماش والتجعد. كما قد يتم غسل الأقمشة ذات التشطيب النانوي مراتٍ أقلٍ وعلى درجات حرارةٍ أكثر انخفاضاً. في حين استخدمت تقانة النانو لتكامل ودمج أغشية جزيئات الكربون الصغيرة وكذلك ضمان حماية كامل السطح من التغيرات الكهربائية الساكنة بالنسبة لمرتدي تلك الأقمشة. وقد تم تطوير العديد من التطبيقات الأخرى بالمؤسسات البحثية ومنها معمل أنسجة التقانة النانوية والموجود بجامعة كورنيل.

مستحضرات التجميل

تتمثل أحد مجالات تطبيقات تقانة النانو في الواقيات من أشعة الشمس. حيث تعاني طريقة الحماية التقليدية من الأشعة فوق البنفسجية من افتقارها إلى الاستقرار على المدى الطويل. إلا أن الواقيات من الشمس القائمة على جزيئات النانو المعدنية ومنها ثاني أكسيد التيتانيوم توفر المزيد من المزايا، حيث يكون لجزيئات أكسيد التيتانيوم النانوي تاثيراً مقارناً في خاصية الحماية من أشعة الشمس فوق البنفسجية كما هو الحال في المواد السائبة ولكنها تفقد عملية التبييض الغير مرغوبة للمستحضرات الأخرى حيث أن حجم الجزيء يتناقص.

الزراعة

لتطبيقات تقنية النانو القدرة على تغيير قطاع الزراعة وسلسلة إنتاج الغذاء

بالكامل، من عملية الإنتاج وحتى عملية الحفظ، التجهيز، التعبئة، النقل وحتى معالجة النفايات. حيث يكون لأفكار علوم النانو وتطبيقات تقنية النانو القدرة على إعادة تنظيم دائرة الإنتاج، إعادة بناء التجهيزات وعمليات الحفظ كذلك، بالإضافة إلى إعادة تعريف المستهلكين بعادات الغذاء. هذا بالإضافة إلى أن بعضاً من التحديات الرئيسية والمرتبطة بمجال الزراعة ومنها انخفاض الكفاءة الإنتاجية في المساحة المزروعة، كبر حجم المساحة الغير مزروعة، تقليص الأراضي القابلة للزراعة، فقدان الموارد ومنها المياه والمخصبات ومبيدات الحشرات وضياع المنتجات. هذا بالإضافة إلى الأمن الغذائي للأعداد النامية، يمكن مواجهتها من خلال التطبيقات المختلفة لتقنية النانو.

تقنية النانو في مجال الزراعة

أما في مجال الزراعة فإن تقنية النانو سوف تعمل على تحسين قوة المبيدات الكيميائية مع تخفيض تكلفة المعالجة الكيميائية للمحاصيل مما يعطي فعالية كبيرة في القضاء على الحشرات والآفات التي تفتك بالمحاصيل الزراعية، إلى جانب كونها مأمونة الإستعمال، وايضاً يتم تطوير أدوات نانو خاصة تساعد على تحسين الإمتصاص الغذائي للنباتات مما يؤدي إلى الزيادة في نمو النباتات وتحسين إنتاجها، وكذلك بإستخدام تقنية النانو يمكن صنع كواشف نانو لها القدرة على إكتشاف الأمراض التي تصيب النباتات وعرضها بشكل واضح مما يساعد المنتجين على مراقبة محاصيلهم بطريقة أكثر علمية وإحترافية. ولقد تطورت طرق الزراعة وإنتاج الأغذية بشكل كبير خلال العشر سنوات الماضية، وتسعى شركات الغذاء لتطبيق التقنيات الحديثة مثل تقنية النانو من اجل انتاج افضل للمحاصيل الزراعية، حيث يعتقد العلماء إن إستخدام تقنية النانو سيساعد

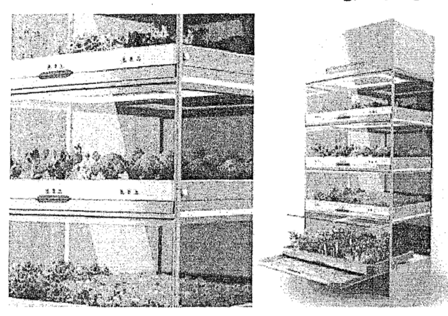
شركات الغذاء على إنتاج مواد غذائية خالية مـن أضـرار المـواد الحافظـة واقـل كذلك ثمناً مما هي عليه اليوم، وذلك من خلال إستخدام اقل للمواد الكيميائيـة في تحضير وإنتاج المواد الغذائية مستقبلاً.

لقد توصل باحثون إلى توفير معالجة نقص مياه الري وتوفيرها عـن طريـق استخدام تكنولوجيا النانو والتى تعـد مـن الطـرق الحديثـة فـى الزراعـة والتـى ستكون لها اثرها الواضح خلال المستقبل القريب. واشير إلى ان تكنولوجيا النانو تم تطبيقها علي أرض المشروع وتم زراعتها بمحصول القمح والذي أثبت نتائجها توفر أكثر من 30 ٪ من مياة الري المستخدمة فى ري هذا المحصول بتطبيـق هـذه التكنولوجيا فى الزراعـة بالأراضـي الصـحرواية بمـا يعـني أنـه باسـتخدام هـذه التكنولوجيا فى الاراضي الصحراوية والتى تعاني من نقـص الشـديد فـى ميـاه الري سـيتم زيـادة الرقعـة الزراعيـة بالاراضـي الصـحرواية فـى ظـل المشـكلة المستقبيلة المتوقعة بنقص مياه الري.

ومن ألمؤكد ان تكنولوجيا النانو هي عبارة عن مخلـوط مـن معـادن الطـين المختلفة بنسب معينة والتى يتم ضغطها بطريقة ميكانيكية معينـة ثـم يـتم حقنهـا بالتربة الرملية مع مياه الري بواسطة الماكينة الزراعية حيث يعمل مخلـوط معـادن الطين على توفير مياه الري وذلك عن طريق وزيادة درجة التشبع للتربة وزيـادة المحتوي الرطوبي وكذلك زيادة السعة الحقلية وزيادة تماسك التربة وتكـوين بنـاء أرضي للتربة.

وهذه المميزات كلها تؤدي بدورها لإطالة فترات الري وحفظ ميـاة الـري لمدة تزيد عن ثلاث سنوات عند اضافتها إلي التربة الرملية وكذلك تساعد علـي نسبة الانبات وتقليل نسبة البخر والنتح من التربة وتحسـين الخصـائص الفزيائيـة للتربة لاضافة إلى العديد من المميزات الاخرى.

حديقة نانو داخل المطبخ

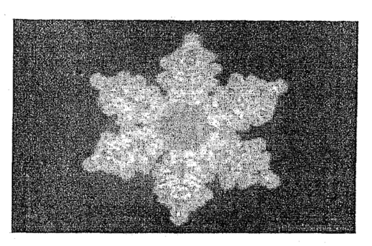


شكل (19) نموذج لحديقة النانو داخل المطبخ

صممت شركة Hyundai حديقة نانو داخل المطبخ وهو يشبه الثلاجة وهي تستخدم الزراعة المائية ويتم التحكم وتحديد الضوء والماء والإمدادات الغذائية المناسبة بدلا من ضوء الشمس وهي تتيح للمستخدمين تحديد سرعة النمو وبدون اللجوء إلى المبيدات أو الأسمدة. وهي كذلك تعمل على تنقية الهواء، والقضاء على الروائح الكريهة. وبذلك يمكن الحصول على محاصيل نظيفة غير مضرة بالبيئة.

الماء وتقنية النانو

نتائج مذهلة لتجارب أجريت على ماء زمزم باستخدام تقنية النانو.



شكل (20) بلورة لماء زمزم

كشف العالم الياباني ماسارو إيموتو رئيس معهد هادو للبحوث العلمية عن خصائص إعجازية لماء زمزم (الماء الذي له قيمة دينية عظيمة وتفضيل عند المسلمين) بعد أن أجرى عليه عدة تجارب باستخدام تقنية النانو. وأكد إيموتو أن ماء زمزم يمتاز بخاصية علمية لا توجد في الماء العادي، بعد أن بينت الدراسات والبحوث العلمية التي أجراها على الماء بتقنية النانو أنها لم تستطع تغيير أي من خواصه الأصلية. وأشار الباحث الياباني، وهو مؤسس نظرية تبلور ذرات الماء التي تعد اختراقا علميا جديدا في مجال أبحاث الماء ومؤلف كتاب "رسائل من الماء"، إلى أن البسملة في القرآن الكريم لها تأثير عجيب على بلورات الماء. وقال إيموتو في حديثه أمام أكثر من 500 باحث ومهتم في أبحاث المياه، أن إضافة قطرة واحدة من ماء زمزم إلى 1000 قطرة من الماء العادي تجعل الماء العادي يكتسب الخصائص ذاتها لماء زمزم. وبين إيموتو أن ماء زمزم فريد ومتميز وأن بلورات الماء الناتجة بعد التكرير تعطي أشكالا رائعة لذلك لا يمكن أن يكون هذا الماء عادياً. وأوضح إيموتو أنه حين تعرضت بلورات الماء للبسملة عن طريق القراءة أحدثت تأثيرا عجيبا وكونت بلورات فائقة الجمال في تشكيل الماء. وبالإضافة إلى

البسملة فإن لأسماء الله الحسنى أثر كبير على خاصية بلورات ماء زمزم إذ تم عرض أسماء الله الحسني التسعة والتسعين على الماء ولكن عند عرض اسم "العليم" على بلورات الماء شكل هذا الاسم تأثيرات خاصة في شكل الماء وخواصه. وأشار إيموتو إلى تجربة إسماع الماء شريطا يتلى فيه القرآن الكريم فتكونت بلورات من الماء لها تصميم رمزي غاية في الصفاء والنقاء مؤكدا أن الأشكال الهندسة المختلفة التي تتشكل بها بلورات الماء الذي قرأ علية القرآن أو الدعاء تكون اهتزازات ناتجة عن القرآن على هيئة صورة من صور الطاقة مبينا أن ذاكرة الماء هي صورة من صور الطاقة الكامنة والتي تمكنه من السمع والرؤية والشعور والانفعال واختزان المعلومات ونقلها والتأثر بها إلى جانب تأثيرها في تقوية مناعة الإنسان وربما علاجه أيضا من الأمراض العضوية والنفسية. ان ماطرحه إيموتو في دراساته يدل على أن أي ذرة في عالم الوجود لها إدراك وفهم وشعور فهي تبدي انفعالا إزاء كل حدث يقع في العالم وتعظم خالقها وتسبحه عن بصيرة. أن ذرات الماء تتسم بالقدرة على التأثير بأفكار الإنسان وكلامه فالطاقة الاهتزازية للبشر والأفكار والنظرات والدعاء والعبادة تترك أثر البناء الذري للماء. ومن هنا لنا أن نتخيل بعد هذا كله كيفية تأثر الإنسان الذي يتكون جسمه من 70 بالمائة من المياه بالأفكار والمشاعر والنظرات والدعاء.

الهندسة النانوية

الهندسة النانوية (Nanoengineering) هو مصطلح مزاولة الهندسة في المقاييس النانومترية. ويستند الاسم إلى النانومتر، الذي هو وحدة قياس ما يعادل واحد من المليار من المتر. الهندسة النانوية ترتبط ارتباطا وثيقا بتقنية النانو. أول برنامج الهندسة النانوية في العالم وقد بدأ في جامعة تورونتو في العلوم الهندسية

البرنامج بوصفه واحداً من خيارات للدراسة في السنوات الأخيرة. في عام 2003، بدأ معهد لوند للتكنولوجيا في برنامج الهندسة النانوية. في عام 2005، أنشأت جامعة واترلو برنامج فريد من نوعه الذي يوفر درجة كاملة في هندسة تقنية النانو. وجامعة كاليفورنيا في سان دييغو ثم بعد ذلك بفترة قصيرة في عام 2007 مع قسم خاص لهندسة النانو.

البنية نانوية

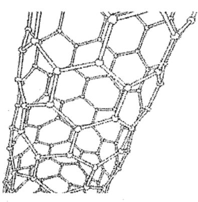
إن البنية النانوية هي الأغراض ذات الأحجام المتوسطة بين البنى الجزيئية وبين البنى الجهرية (ذات الحجم الميكرومتري) عند وصف البنى النانوية من الضروري التميز بين عدد الأبعاد حسب المقياس النانومتري. فأسطح الأنسجة النانوية أحادية البعد حسب المقياس النانومتري، حيث تتراوح سماكة سطح الغرض بين 0.1 و100 نانومتر. والأنابيب النانوية ثنائية البعد حسب المقياس النانومتري، فقطر الأنبوب يتروح بين 0.1 و100 نانومتر، وقد يكون طوله أكبر من ذلك. وأخيراً فإن الجسيمات النانوية الكروية ثلاثية الأبعاد حسب المقياس النانومتري، حيث يتراوح كل بعد مكاني للجسيم بين 0.1 و100 نانومتر. ويتم استخدام مصطلحي الجسيمات النانوية والجسيمات فائقة الصغر (UFP) غالباً بشكل مترادف على الرغم من أن الجسيمات فائقة الصغر (UFP) يمكن أن تصل إلى المجال الميكرومتري. وغالباً ما يتم استخدام مصطلح 'البنية النانوية' عند الإشارة إلى التقانة المغناطيسية.

تنظيم تقنية النانو

تنظيم تقنية النانو ان مسألة تنظيم مهم جدا بسبب الجدل المستمر بشأن الآثار المترتبة على تقنية النانو، وهناك جدل كبير فيما يتعلق بمسألة ما إذا كانت

منتجات التقنية النانوية أو النانوتكنولوجيا القائمة على أساس الجدارة للتنظيم الحكومي. هذا النقاش هو متصل بالظروف التي هي ضرورية ومناسبة لتقييم المواد الجديدة قبل إطلاقها إلى السوق المجتمع البيئة. ان تسمية تقنية النانو تستخدم على عدد متزايد من المنتجات المتاحة تجاريا من الجوارب والسراويل لمضارب التنس ومواد تنظيف الملابس الخ. ان ظهور مثل هذه التكنولوجيا النانوية والصناعات المصاحبة لها أثار دعوات لمشاركة المجتمع المدني وزيادة فعالية المنظمات الاهلية. ولكن هذه الدعوات في الوقت الحاضر قد لا تؤدي إلى مثل هذا التنظيم الشامل للإشراف على البحث والتطبيق التجاري لتكنولوجيا النانو أو وضع العلامات شاملة للمنتجات التي تحتوي على جسيمات نانوية أومشتقة من عمليات النانو وقد بدأت الهيئات الرقابية مثل وكالة حماية البيئة وإدارة الأغذية والعقاقير في الولايات المتحدة أو مديرية الصحة وحماية المستهلك في المفوضية الأوروبية في التعامل مع المخاطر المحتملة الناجمة عن الجسيمات النانوية. وحتى تثبت عدم وجود اخطار منها، لا لهندسة النانو ولا للمنتجات والمواد التي تحتوي عليها وتخضع لأية لائحة خاصة تتعلق بالإنتاج.

(1) الأنابيب النانوية الكربونية



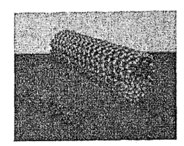
شكل (21) انابيب النانو الكاربونية

الأنابيـب النانويـة الكربونيـة (Carbon Nanotube؛ والمعروفـة أيضـاً بمصطلح Buckytubes) هي متآصلات كربونية ذات تركيبات نانويـة أسـطوانية الشكل. ويُلاحظ أن نسبة طول الأنابيب النانوية الكربونيـة إلى قطرهـا تصـل إلى 132,000,000 :1، والتي تبدو أطـول بدرجـةٍ واضـحةٍ مـن أي مـادةٍ أخـرى. ولتلك الجزيئات الكربونية سماتٌ جديدةٌ، تجعلها مفيدةً في العديد من التطبيقات في مجال تقنية النانو، الإلكترونيات، البصريات، بالإضافة إلى العديد من المجـالات الأخرى ذات الصلة بعلم المـواد، وكـذلك مجموعـةٍ أخـرى مـن الاسـتخدامات المتوقعة في مجالات الهندسة المعمارية. كما أنه قد يكون لها بعـض الاسـتخدامات في بناء الدروع الواقية للبدن. حيث أنها تُظْهِر قوةً استثنائية، وخصائصاً كهربائيـة فريدة، كما أنها تعمل كموصلاتٍ جيدةٍ للحرارة.

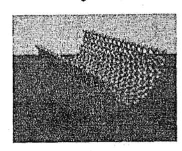
وتمثل الأنابيب النانوية أحد أعضاء أسرة البنى الفوليرينيـة، والـتي تشـمل أيضاً كريات باكي. هذا وقد يُغَطى الأنبوب النـانوي بنصـف كـرةٍ مـن التركيبـة الفلورية (باكي بول). كما نلاحظ أن اسمها اشْتُق من حجمهـا، حيـث أن قطـر الأنبوب النانوي يَبلغ بضعة نانومتراتٍ فقط (مما يُعـادل 1/ 50,000 تقريبـاً مـن عرض شعرة بشرية)، في حين أنه من الممكـن أن يتزايـد طولهـا إلى 18 سـنتيمتراً (كما ظهر في سنة 2010). ومن ثم تُصنّف الأنابيب النانويـة علـى أنهـا أنابيـب نانوية أحادية الجدار وأنابيب نانوية متعددة الجدران.

هذا وتُعَدُ كيمياء الكم التطبيقية- وبخاصةً التهجين المـداري- هـي أفضـل الطرق لوصف الروابط الكيميائية بأنابيـب النـانو. وتتكـون الرابطـة الكيميائيـة للأنابيب النانوية من روابط لها التهجين المداري sp^2، وهي شبيهة بتلك الموجودة في الغرافيت. هذا وتمد تلك الروابط- والتي تُعَدُ أقوى من روابط sp^3 الموجـودة في الألماس- الأنابيب النانوية بقوتها وصلابتها الفريدة. علاوةً على أن الأنابيـب النانوية تصطف ذاتها في صورة "أحبال" معقودةٍ معاً بواسطة قوى فان دير فالس.

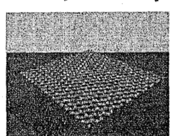
أحادية الجدار



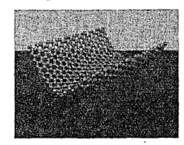
أريكية المنظر (n،n)



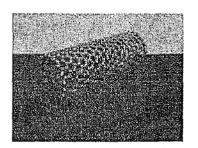
المتجه الدواني أو الكايرالي يكون مقوساً، في حين متجه الانزلاق يظل مستقيماً



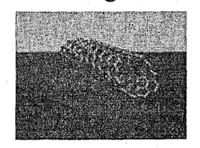
شريط نانوي غرافيني



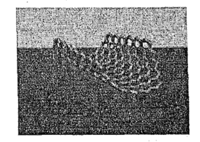
المتجه الدواني أو الكايرالي يكون مقوساً، في حين متجه الانزلاق يظل مستقيما



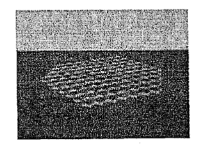
متعرج $(0،n)$



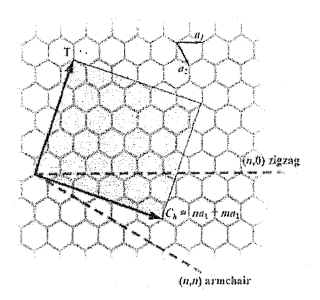
الدواني أو الكايرالي $(m،n)$



n وm يمكن حسابهما في نهاية الأنبوب



شريط نانوي غرافيني



شكل (22) أنواع الأنابيب النانوية الكربونية الاحادية وهياكلها البنائية

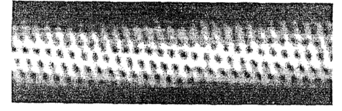
يمكن اعتبار نظام تسمية الأنبـوب النـانوي (*m*،*n*) كمتجـه C_h vector في صفيحة غرافين لانهائية والتي تصف كيفية (ثني أو لـف) صـفيحة الجـرافين مـن أجل إنشاء أنبوب نانوي. كما تشير T إلى محور الأنبوب النانوي، في حـين تشـير كلٌ من a_1 وa_2 إلى متجهي وحدة الغرافين في الفضاء الواقعي.

يكون لغالبية الأنابيب النانوية أحادية الجدار قطراً يقـترب مـن النـانومتر الواحد، مع طول أنبوب قد يصل إلى أطول من ذلك بملايين المرات. كمـا يمكـن تصور بنية الأنبوب النانوي الكربوني أحادي الجدار من خلال لف طبقـةٍ رقيقـةٍ أحاديـة الـذرة مـن الغرافيـت يُطلـق عليهـا غـرافين لنحصـل علـى شـكل إسطوانةٍ سلسلةٍ بعد ذلك. ويتم التعبير عن الطريقة التي يـتم بهـا لـف الغـرافين بزوجٍ من المؤشرات (*m*،*n*) واللتين يُطْلَقُ عليهما المتجه اليدواني، أو الكـايرالي، (Chiral vector). حيث يشير الرقم الصحيح *n* و*m* إلى عدد متجهـات الوحـدة على طول اتجاهين في شبكة الغرافين البلورية والـتي تكـون علـى شـكل قـرص

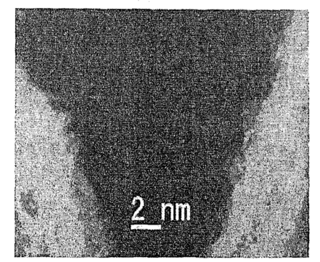
عسل النحل، فلو كانت m = صفر، يطلق على الأنبوب النانوي "زيغ زاغ" أو "الخط المتعرج". أما لو كانت $m = n$، فإن الأنبوب النانوي يطبلق عليه حينئذٍ "أريكي". وما دون ذلك، يُطلق علي باقي الأنابيب النانوية الكربونية "الدوانية أو الكايرالية". هذا ويمكن حساب قطر الأنبوب النانوي من خلال مؤشري (n,m) كما يلي:

$$d = \frac{a}{\pi}\sqrt{(n^2 + nm + m^2)}.$$

حيث أن a = 0.246 nm.



شكل (23) صورة مجهرية باستخدام مجهر المسح النفقي لأنبوب نانوي كربوني أحادي الجدار.



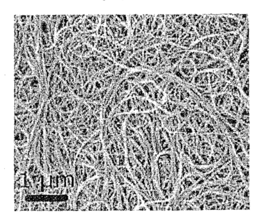
شكل (24) صورة مجهرية باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ تُظهِر أنبوب نانوي كربوني أحادي الجدار.

وتمثل الأنابيب النانوية أحادية الجدار تنوعاً هاماً للأنابيب النانوية الكربونية بسبب أنها تعرض الخصائص الكهربائية التي لا تتوافر في تنوعات الأنابيب النانوية متعددة الجدران. وعلى الخصوص، تتراوح فجوة النطاق الخاصة بها من الصفر إلى ما يقارب 2 إلكترون فولت، كما تظهر قدرتها على التوصيل الكهربائي سماتها المعدنية الفلزية أو شبيهة التوصيل، في حين تكون الأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران معادن صفرية الفجوة. مما يجعل الأنابيب النانوية الكربونية أحادية النطاق مرشحاً جيداً لتصغير الإلكترونات إلى ما وراء المقياس الإلكتروميكانيكي الدقيق والمستخدم حالياً في الإلكترونات. ولعل أكثر حزمة بنائية أساسية لهذه الأنظمة تتمثل في السلك الكهربائي، مما يجعل الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار قد تكون موصلة ممتازة. ولعل أحد التطبيقات المفيدة للأنابيب النانوية أحادية الجدار تمثل في تطوير أول المقاحل (ترانزستورات) المتأثرة بالحقل بين الجزيئية. كما أن إنتاج أول بوابة منطقية ضمن جزيئية باستخدام (مقاحل الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار المتأثرة بالحقل الضمن جزيئية) قد أصبحت متاحةً في الوقت الحاضر. فلكي تتمكن من إنشاء بوابة منطقية، يجب عليك أن يكون عندك كلّ من (مقاحل أو ترانزستورات p المتأثرة بالحقل) p-FET و(مقاحل أو ترانزستورات n المتأثرة بالحقل) n-FET. ذلك بسبب أن الأنابيب النانوية أحادية الجدار هي عبارة عن p-FETs عندما تعرضت للأكسجين وn-FETs دون ذلك، ومن ثم فمن الممكن هنا حماية نصف الأنبوب النانوي أحادي الجدار من التعرض للأكسجين. وهذا يسفر عن أن الأنبوب النانوي أحادي الجدار يكون بمثابة عاكس مع كلٍ من نمطي p وn للترانزستورات المتأثرة بالمجال داخل نفس الجزيء.

ويُلاحظ الانخفاض الحاد المتزايد في أسعار الأنابيب النانوية أحادية الجدار،

من قرابة 1500 دولاراً أمريكياً لكل جرام وذلك في عام 2000، إلى أسعار تجزئة قاربت 50 دولاراً أمريكياً لكل من الأنابيب النانوية أحادية الجدار المصنعة بنسبة 40-60٪ مع حلول مارس 2010.

متعددة الجدران



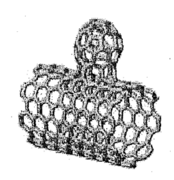
شكل (25) صورة مجهرية باستخدام مجهر المسح النفقي لحزم الأنابيب النانوية الكربونية.

تتكون الأنابيب النانوية متعددة الجدران من طبقاتٍ عديدةٍ مطويةٍ أو ملفوفةٍ (أنابيب متراكزة) من الغرافيت. ويوجد هناك نموذجان يمكن استخدامهما لوصف هياكل وبنى الأنابيب النانوية متعددة الجدران. ففي نموذج *الدمية الروسية (ماتريوشكا)*، تم ترتيب صفائح الغرافين على شكل أسطوانات متمركزة. على سبيل المثال أنبوب نانوي أحادي الجدار (0.8) داخل أنبوب نانوي أحادي الجدار أكبر حجماً (0.17). أما في نموذج *لفيفة الرق*، يتم طي صفيحة من الغرافين حول بعضها البعض، ممثلةً شكل لفيفةٍ من الرق أو جريدةٍ ملفوفةٍ. مع ملاحظة أن المسافة تتقارب في ما بين الطبقات الداخلية للأنبوب النانوي متعدد الجدران من تلك المسافة الموجودة بين طبقات الغرافين في الغرافيت، تقريباً 3.4 Å.

وهنا يجب التأكيد على مكان أنابيب النانو الكربونية مزدوجة الجدران

الخاص بسبب تركيبها وخواصها الشبيهة بالأنابيب النانوية أحادية الجدران، إلا أن مقاومتها للمواد الكيميائية تم تحسينها بصورةٍ كبيرة. ويصبح هذا من الضرورة عندما تكون الوظيفية مطلوبة (وهذا يعني تطعيم وتحين الوظائف الكيميائية على سطح الأنابيب النانوية) بهدف إضافة خصائص جديدةٍ للأنابيب النانوية الكربونية. وفي حالة الأنابيب النانوية أحادية الجدار، تقوم الوظيفية التساهمية بكسر بعضاً من الروابط التساهمية (المزدوجة) C=C، مخلفةً ورائها "ثقوباً" في تركيب على سطح الأنبوب النانوي ومن ثم تعديل كلاً من خصائصها الميكانيكية والكهربائية. أما في حالة الأنابيب النانوية مزدوجة الجدران، يتم تعديل الجدار الخارجي فقط. هذا وقد أُقْتُرِحَ تركيب الأنبوب النانوي مزدوج الجدران على مقياس الغرام لأول مرةٍ في عام 2003 بواسطة تقنية *الترسيب الكيميائي للبخار بالاشتعال* (Combustion Chemical Vapor Deposition CCVD)، وذلك بالاختزال الانتقائي لمحاليل الأكسيد في كلٍ من الميثان والهيدروجين.

الطارة أو الطوق



شكل (26) بنية برعم نانوي كربوني مستقرة.

يوصف البرعم النانوي الكربوني نظرياً على أنه أنبوب نانوي كربوني مطويّ داخل طارةٍ أو طوقٍ (حيث يأخذ شكل الدونوت أو الكعكة الكحلاة).

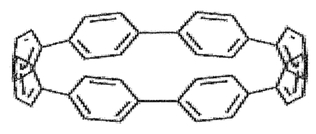
ومن المتوقع أن يكون للأطواق النانوية العديد من الخصائص الفريدة، ومنها يكون العزم المغناطيسي أكبر 1000 مرةً عما كان متوقعاً مسبقاً لأنصاف أقطارٍ خاصةٍ معينةٍ. كما تتنوع بعضاً من الخصائص ومنها العزم المغناطيسي، الثباتية الحرارية، إلخ وفقاً لنصف قطر الطوق أو الطارة وطارات الأنبوب جميعها.

البرعم النانوي

تُعَدُ البراعم النانوية الكربونية موادُ مُنْتَجَةً حديثاً، حيث تجمع متآصلات الكربون المكتشفة مسبقاً: وهي عبارة عن أنابيب النانو الكربونية والفولرينات. يتم ربط "البراعم" الشبيهة بالفوليرين بصورةٍ تساهميةٍ مع الجدران الجانبية الخارجية للأنبوب النانوي الكربوني الداخلي. وتتسم تلك المادة المهجنة بأنها تجمع خصائصاً مفيدةً لكلٍ من الفوليرينات والأنابيب النانوية الكربونية. وعلى الأخص، وُجِدَ أنها بواعثٌ استثنائيةٌ جيدةٌ للمواد. كما قد تلعب جزيئات الفوليرين، في المواد المركبة، وظيفة المثبتات الجزيئية والتي تمنع وتقي من انزلاق الأنابيب النانوية، ومن ثم تساعد في تحسين الخصائص الميكانيكية للمركب.

الأنابيب النانوية الكربونية مكدسة الكأس

تختلف الأنابيب النانوية الكربونية مكدسة الكأس (Cup-stacked carbon nanotubes) عن الهياكل الكربونية الأخرى شبيهة أحادية البعد (quasi-1D carbon structure) والتي تلعب دور موصل معدني للإلكترونات. حيث تُظْهِر الأنابيب النانوية الكربونية مكدسة الكأس سلوكاً شبه توصيلياً بسبب البنية الدقيقة المكدسة لطبقات الغرافين.



شكل (27) حلقي بارافينيلين.

أفادت التقارير أن *أطول* أنابيب نانوية كربونية (بطول وصل إلى 18.5 سنتيمتراً) ظهرت عام 2009. حيث تم تنميتها على ركائز السيليكون (Si substrates) بواسطة استخدام طريقة ترسب كيميائي للبخار بالإضافة إلى تقديم حزم منتظمة متجانسة إلكترونياً من الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار.

في حين كان *أقصر* أنبوب نانوي كربوني عبارة عن مركب حلقي بارافينيلين العضوي والذي تم تركيبه في أوائل سنة 2009.

كما أن *أرفع* أنبوب نانوب كربوني هو على شكل (ذراع الكرسي أو الأريكي الشكل) (2.2) سنتيمتراً، حيث يصل قطره إلى 3 Å. وقد نما هذا الأنبوب النانوي الكربوني داخل أنبوب نانوي كربوني متعدد الجدران. وتم تطبيق نموذج الأنبوب النانوي الكربوني من خلال دمج حسابات كلٍ من المجهر الإلكتروني النافذ عالي الدقة (high-resolution transmission electron microscopy)، مطيافية رامان (Raman spectroscopy)، والنظرية الدالية للكثافة (density functional theory).

كما أن أكثر الأنابيب النانوية الكربونية *نحافةً وقائمةً بذاتها* يقارب قطرها 4.3 Å. وقد اقترح الباحثون أنه قد يكون أنبوباً نانوياً أحادي الجدار بأقطار

(5.1) أو (4.2)، إلا أن النوع المحدد للأنبوب النانوي الكربوني ما زال محط تساؤلٍ واستفهامٍ. هذا وتم تحديد الأنابيب النانوية الكربونية ذات الأقطار (3.3)، (4.3)، و(5.1) (حيث تترواح جميعها حول طول قطرٍ يصل إلى 4 Å) بوضوحٍ باستخدام صورةٍ أكثر تصحيحاً للانحراف الناتج عن المجهر الإلكتروني النافذ عالي الدقة. على الرغم من ذلك، فقد وُجِدَت داخل الأنابيب النانوية الكربونية مزدوجة الجدران كذلك.

الخصائص

القوة

تتسم الأنابيب النانوية الكربونية بأنها الأقوى، الأكثر صلابةٍ، وجموديةٍ بين المواد التي تم اكتشافها من حيث مقاومة الشد ومعامل المرونة على التوالي. وتنتج تلك القوة والصلابة من روابط sp^2 التساهمية والمكونة فيما بين ذرات الكربون الفردية. حيث تم اختبار أنبوب نانوي كربوني متعدد الجدران في عام 2000 بهدف الحصول على درجة مقاومته للشد التي وصلت إلى 63 غيغا باسكال. (وهذا، للتوضيح، يعادل القدرة على تحمل ضغطٍ وزنٍ يكافيء إلى 6422 كيلو غراماً على كابل أو سلك بقطاع عرضيٍّ يصل إلى 1 مليمتراً مربعاً.) وبسبب أن للأنابيب النانوية الكربونية كثافة منخفضة بالنسبة للمواد الصلبة تتراوح من 1.3 إلى 1.4 غرام.سم$^{-3}$، فإن مقاومتها النوعية والتي تصل إلى 48,000 كن.م.كغ$^{-1}$ هي الأفضل فيما بين المواد المعروفة، مقارنةً بتلك الخاصة بالصلب مرتفع الكربون والتي تصل إلى 154 كن.م.كغ$^{-1}$.

وتحت شد الالتواء المفرط، تخضع الأنابيب للتشوه اللدن (plastic

deformation)، مما يعني حدوث تشوهٍ دائم. ويبدأ التشوه عند عمليات التواءٍ تصل تقريباً إلى 5٪، ويمكن زيادة الحد الأقصى لالتواء الأنابيب قبل الكسر عن طريق إطلاق طاقة الالتواء.

وهنا نلاحظ أن الأنابيب النانوية الكربونية ليست قويةٍ تقريباً تحت الضغط. وبسبب بنيتهم الجوفاء وارتفاع نسبة العرض إلى الارتفاع، فهي تميل إلى الانبعاج (buckling) عندما تخضع لظروف الضغط، الالتواء أو الانحناء.

جدول (1) مقارنة الخصائص الميكانيكية

المادة	معامل يونج(TPa)	مقاومة الشد (GPa)	الاستطالة عند الكسر(%)
الأنابيب النانوية أحادية الجدار	~1 (from 1 to 5)	13–53[ت]	16
الأنابيب النانوية أحادية الجدار أريكية (ذراع الأريكة) الشكل	0.94[ن]	126.2[ن]	23.1
الدواني أو الكايرالي المعوجة	0.94[ن]	94.5[ن]	15.6–17.5
الدواني أو الكايرالي الدوانية أو الكايرالية	0.92		
الأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران	0.270[ت].80[ت].95[ت]	11[ت]– 63[ت]150[ت]	
الصلب أو الفولاذ غير القابل للصدأ	0.1860[ت].214[ت]	0.38[ت]– 1.55[ت]	15–50
كيفلر29&149–	0.060[ت].18[ت]	3.63[ت].8[ت]	~2

حيث: [ت] تشير إلى الملاحظة التجريبية، بينما [ن] تشير إلى التنبؤات النظرية

وتشير المناقشة السابقة إلى الخصائص المحورية للأنبوب النانوي، بينما

تقترح الاعتبارات الهندسية أن الأنابيب النانوية الكربونية يجب أن تكون أكثر طراوة في الاتجاه الشعاعي عن تلك على طول محور الأنبوب. وتشير الملاحظة والفحص عبر استخدام المجهر الإلكتروني النافذ للمرونة الشعاعية أنه حتى قوى فان دير فالس لها القدرة على تشويه أنبوبين نانويين متجاورين. كما أشارت تجارب الثلم النانوي (Nanoindentation) والتي تمت من قبل مجموعاتٍ عدة على الأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران، إلى أن قيمة معامل يونج لها يعادل عدة وحدات غيغا باسكال، مما يؤكد أن الأنابيب النانوية الكربونية هي في الواقع طرية في الاتجاه الشعاعي نصف القطري.

الصلادة

يُعتَبَر الألماس أكثر المواد صلادةً. ويتحول الغرافيت تحت ظروف الحرارة العالية والضغط العالي إلى الألماس. نجحت إحدى الدراسات في تركيب أو تصنيع مادةٍ عالية الصلادة من خلال ضغط الأنابيب النانوية أحادية الجدار إلى ما فوق 24 غيغا باسكال في درجة حرارة الغرفة. كما تم قياس صلادة تلك المادة الجديدة بالمثلم النانوي (nanoindenter) لما بين 62-152 غيغا باسكال. في حين أن صلادة عينات الألماس ونتريد البورون المرجعية تتراوح بين 150-62 باسكال، على التوالي. في حين يفوق معامل المرونة الحجمية للأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار المضغوطة والذي يُقَدَّر ب462-546 باسكال، معامل الألماس الذي يصل إلى 420 باسكال.

الحركية

تتسم الأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران بأنها أنابيب نانوية كربونية متعددة ومتمركزة بدقة وبصورةٍ متداخلةٍ مع بعضها البعض. وتظهر هذه

الأنابيب خاصية انزلاق الأسطوانات فوق بعضها البعض كما في المقراب (التليسكوب)، والتي بموجبها قد ينزلق محور الأنبوب النانوي الداخلي، غالباً بدون احتكاك، داخل غلاف الأنبوب النانوي الخارجي، مما يخلق أو ينتج محامل ذرية خطية أو دورانية. ومن ثم، فيُعَدُ هذا النموذج من الأمثلة الأولى الحقيقية للتقانة النانوية الجزيئية، والمتمثلة في التوضع الدقيق للذرات لإنتاج آلاتٍ مفيدةٍ. وقد استُخْدِمَت تلك الخاصية بالفعل لإنتاج أصغر محركٍ دوارٍ في العالم أجمع. كما تم وضع تصوراتٍ للتطبيقات المستقبلية ومنها المذبذبات الميكانيكية الغيغاهرتزية.

الكهربائية

بسبب التناظر والتركيب الإلكتروني الفريد للغرافين، فإن بنية الأنبوب النانوي تؤثر بصورةٍ قويةً على خصائصها الكهربائية. فلو كانت قيمة n قيمة $= m$ في حالة الأنبوب النانوي الذي تم ذكره مسبقاً $(m،n)$ فإن الأنبوب النانوي يكون فلزي (شبيه بناقلية الفلزات)؛ أما لو كانت قيمة $m - n$ هي ثلاثة أضعافٌ من 3، فإن الأنبوب النانوي يكون شبه موصلاً ذا فجوةٍ نطاق صغيرةٍ، ودون ذلك يكون الأنبوب النانوي شبه موصلٍ موجبٍ معتدل. ومن ثم، فإن كل الأنابيب النانوية أريكية الشكل $(m = n)$ هي معدنيةٍ، في حين تكون الأنابيب النانوية (6.4)، (9.1)، إلخ أشباه موصلاتٍ.

على الرغم من ذلك، فللقاعدة استثناءاتها، بسبب أن تأثيرات الانحناء في الأنابيب النانوية الكربونية صغيرة القطر قد تؤثر بقوةٍ على الخصائص الكهربائية. ومن ثم، فإن الأنبوب النانوي الكربوني أحادي الجدار (5.0) والذي كان يجب أن يكون شبيه موصلٍ يكون في الواقع فلزي وفقاً للحسابات. وعلى

نفس المنوال، وبصورةٍ معكوسةٍ- فإن الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار متعرجة وأريكية الشكل ذات الأقطار الصغيرة والتي يجب أن تكون فلزية، لها فجوة محدودة (تظل الأنابيب النانوية أريكية الشكل معدنية). ووفقاً للنظرية، فإن الأنابيب النانوية المعدنية لها القدرة على حمل ونقل كثافة التيار الكهربائي 4×10^9 A/cm^2 والتي تزيد عن 1.000 مرةً عن تلك الخاصة بفلزات مثل النحاس.

في حين تُظْهِر الأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران ذات القشور الداخلية المتداخلة معاً موصلية فائقة مع درجة حرارةٍ انتقالية عالية نسبياً $T_c = 12$ درجة حرارةٍ مطلقةٍ. وعلى النقيض، فإن T_c قيمة أسية أقل بالنسبة للحبال المكونة للأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار أو تلك الخاصة بالأنابيب النانوية متعددة الجدران ذات القشور أو الأغلفة العادية غير المتداخلة مع بعضها البعض.

البصرية

تشير الخصائص البصرية لأنابيب النانوية الكربونية إلى الامتصاص والضيائية الضوئية ومطيافية رامان للأنابيب النانوية الكربونية. تعد الخصائص البصرية ذات أهمية كبيرة، من منطلق صناعي، إذ أنها يمكن أن تساهم في تحديد نوعية الأنابيب النانوية الكربونية المنتجة، وذلك في تحديد المحتوى الكربوني، والبنية (اليدوانية) والكشف عن العيوب البنيوية.

من المتوقع أن تسخر الخصائص البصرية للأنابيب النانوية الكربونية في مجال الصمامات الثنائية الباعثة للضوء وفي المكاشيف الضوئية إن الخاصة المميزة لهذه التطبيقات ليست في كفاءتها، إذ لا تزال ضعيفة، إنما في انتقائيتها لطول موجة الإصدار والكشف، وبإمكانية تحسينها عن طريق بنية الأنابيب النانوية.

الحرارية

من المتوقع أن تكون الأنابيب النانوية جميعها موصلات جيدة للحرارة على طول الأنبوب، مما يظهر خاصية معروفة باسم "التوصيل الباليستي" (ballistic conduction)، إلا أنها في الوقت ذاته تلعب دور عوازلٍ جيدةٍ لمحور الأنبوب بصورةٍ أفقيةٍ. هذا وقد أظهرت التجارب أن للأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار القدرة على توصيل درجة حرارة الغرفة على طول محورها لما يصل إلى 3500 $W.m^{-1}.K^{-1}$؛ ولنقارن هذا بالنحاس، وهو فلز معروف بأنه موصل جيدة للحرارة، حيث ينقل 385 $W.m^{-1}.K^{-1}$. حيث أن للأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار خاصية نقل أو توصيل درجة حرارة الغرفة عبر محورها لما يقارب 1.52 $W.m^{-1}.K^{-1}$، والذي هو تقريباً موصل حرارياً كالتربة. كما تُقَدَر ثباتية درجة الحرارة للأنابيب النانوية الكربونية بما قد يصل إلى 2800 °س في الفراغ وإلى ما يصل إلى 750°س في الهواء.

العيوب والتشوهات

كما هو الحال مع المواد جميعها، فإن وجود أي تشوه بلوري (crystallographic defect) يؤثر على خصائص المادة. حيث قد تقع التشوهات على صورة فجوات ذرية (vacancy defect). كما أن المستويات العليا لمثل تلك التشوهات قد تُقَلِص من قوة الشد بمقدار يصل إلى 85٪. وتمثل تشوهات ستون ويلز (Stone Wales defect) صورةً أخرى للتشوهات المتواجدة بالأنابيب النانوية الكربونية، والتي تخلق زوج خماسي وسباعي من خلال إعادة ترتيب الروابط. وبسبب البنية متناهية الصغر للأنابيب النانوية الكربونية، فإن قوة الشد للأنبوب تعتمد على القطاع الأضعف في سمةٍ مماثلةٍ للسلسلة، حيث تصبح قوة أضعف وصلة هي القوة القصوى للسلسلة.

كما تؤثر العيوب البلورية كذلك على الخصائص الكهربائية للأنبوب. ومن ضمن النتائج الشائعة، قدرة منخفضة على التوصيل عبر المنطقة المعيبة بالأنبوب. كما أن وجود تشوهٍ في الأنبوب النانوي أريكي الشكل (والذي له القدرة على توصيل الكهرباء) قد يتسبب في أن تصبح المنطقة المحيطة شبه موصلةٍ بدلاً من كونها موصلةً للكهرباء، كما أن للفجوات أحادية الذرة خصائصاً مغناطيسيةً. هذا وتؤثر التشوهات البلورية بصورةٍ واضحةٍ قويةٍ على الخصائص الحرارية للأنبوب. فقد تؤدي مثل تلك التشوهات إلى تشتت الفونون، والذي بدوره يزيد من معدل استرخاء هذه الفونونات، مما يؤدي إلى تقليل متوسط المسار الحر ويُقَلِص كذلك من القدرة على التوصيل الحراري لبنى الأنابيب النانوية الكربونية. وتشير محاكاة أو تمثيلات انتقال الفونون إلى أن العيوب البديلة كالنيتروجين أو البورون تؤدي بصورةٍ أساسيةٍ إلى تشتيت الفونونات البصرية عالية التردد. على الرغم من ذلك، فإن التشوهات الكبيرة مثل تشوهات ستون ويلز تُسَبِب تشتتٍ للفونون على نطاقٍ واسعٍ من الترددات، مما يؤدي إلى تقلصٍ أكبرٍ للقدرة على التوصيل الحراري.

النقل أحادي البعد

بسبب الأبعاد النانوية، لا تنتشر الإلكترونات إلا على طول محور الأنبوب ويتضمن نقل الإلكترون العديد من التأثيرات الكمومية. ونتيجةً لهذا، فإنه كثيراً ما يُشار إلى الأنابيب النانوية الكربونية بصورةٍ متكررةٍ "بأحادية البعد".

السمية

شغلت قضية تحديد سُمِّيَة الأنابيب النانوية الكربونية واحدةٍ من التساؤلات الملحة في مجال التقانة النانوية. ولسوء الحظ، فإن الأبحاث المُقَررة

لتلك المسألة قد بدأت لتوها. ومن ثم، فما زالت البيانات التي يتم تجميعها متفرقة ومشتتة بالإضافة إلى أنها تخضع للكثير من الانتقادات. إلا أن النتائج الأولية أبرزت صعوبات تقويم سُمِّيَة هذه المادة المتغايرة غير المتجانسة. وهنا يُلاحظ أن لبعض المعايير أو العوامل كالبنية وتوزيع الحجم ومساحة السطح وكيمياء السطح وشحنة السطح، وكذلك حالة التكتل بالإضافة إلى نقاء العينات، تأثيراتٍ واضحةٍ ملموسةٍ على تفاعلية الأنابيب النانوية الكربونية. على الرغم من ذلك، أظهرت البيانات المتاحة بوضوحٍ أنه، تحت ظروفٍ معينةٍ، تعبر الأنابيب النانوية الحواجز الغشائية، والتي تفترض أنه في حال وصول المواد الخام إلى الأعضاء فمن الممكن أن يكون لها تأثيراتٍ ضارةٍ كالتفاعلات الالتهابية والتلفية.

كما أظهرت دراسةٌ أجرتها أليكسندرا بورتر من جامعة كامبريدج أن الأنابيب النانوية الكربونية لها القدرة على دخول الخلايا البشرية وتتجمع في الهَيُولَى أو هَيُولَى الخَلِيّة، مما يسفر عن موت الخلية.

كما أوضحت الدراسات التي أجريت على القوارض بصورةٍ جماعيةٍ أنه بغض النظر عن العملية التي من خلالها يتم تركيب وتصنيع الأنابيب النانوية الكربونية وأنواع وكميات المعادن التي تحتوي عليها، فإن للأنابيب النانوية الكربونية القدرة على التسبب في الالتهابات، الأورام الحبيبية شبه الظهارية أو العقيدات الجهرية (Epithelioid granulomas)، التليف، والتغيرات الكيميائية الحيوية- السُمِّية في الرئتين. هذا وقد أظهرت الدراسات التي أُجْرِيَت على السمية المقارنة والتي أُعْطِيَت فيها الفئران أوزانٍ متساويةٍ من موادٍ اختباريةٍ، أن الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار كانت أكثر سميةٍ من معدن المرو، والذي يُمَثِّل تهديداً صحياً مهنياً خطيراً عندما يتم استنشاقه بصورةٍ مزمنةٍ (الفترةِ

زمنيةٍ طويلةٍ). وكمجموعةٍ ضابطةٍ، أظهر استخدام أسود الكربون متناهي الصغر تسببها في وقوع تأثيراتٍ ضئيلةٍ بالرئة.

مع ملاحظة أن الأنابيب النانوية الكربونية إبرية الشكل، والشبيهة بألياف الأسبوستوس النسيجية، تثير المخاوف من أن الانتشار العريض لاستخدام الأنابيب النانوية الكربونية قد يؤدي إلى الاصابة أورام المتوسطة، وهي عبارة عن سرطان يصيب بطانة الرئتين وغالباً ما يكون السبب ورائه التعرض لألياف الأسبستوس. هذا وقد أيدت دراسةٌ استطلاعيةٌ حديثةٌ هذا التنبؤ. كما عرض العلماء البطانة الظهارية لتجويف جسم الفأر، كبديلٍ للبطانة الظهارية لتجويف صدر الفأر، إلى أنابيب نانوية كربونية متعددة الجدران طويلة ولاحظوا وجود رد فعل شبيه بالأسبستوس معتمداً على الطول وممرضاً، والذي تضمن التهابات وتكون جروحٍ أو أضرارٍ معروفةٍ باسم الأورام الحبيبية. واختتم مؤلفوا تلك الدراسة أن:

"تمثل تلك النتائج أهميةً كبيرةً لا يمكن إغفالها، بسبب أن المجتمعات البحثية وقطاعات الأعمال تستمر في عمليات الاستثمار بصورةٍ ضخمةٍ في مجال تصنيع الأنابيب النانوية الكربونية وتطبيقها على نطاقٍ واسعٍ من المنتجات تحت شعار أنها لا تتسبب في أية مخاطرٍ تفوق مخاطر الغرافيت. كما أظهرت نتائجنا ضرورة الحاجة إلى إجراء المزيد من الأبحاث والحذر التام قبيل توفير مثل تلك المنتجات في السوق إن أُمْكِنَ تجنب الأذى طويل المدى."

في حين علق المؤلف المساعد لتلك التجربة د. أندرو مينارد أن:

"تُعَدُ تلك الدراسة من نوعية الأبحاث الاستراتيجية عالية التركيز والمطلوبة لضمان سلامة ومسؤولية تطوير وتنمية تقانة النانو. فهي تُشْرِفُ وتختص بدراسة

موادٍ نانويةٍ خاصةٍ، من المتوقع لها أن يكون لها تطبيقاتٍ تجاريـةٍ عريضـة النطـاق وتطرح بعض التساؤلاتِ حول المخاطر الصحية الخاصـة الناجمـة عـن عمليـات الإنتاج تلك. على الرغم من أن العلماء أثاروا مخـاوفهم وقلقهـم حـول سـلامة تصنيع واستخدام الأنابيب النانوية الكربونية الطويلة والرفيعة لمـا يقـارب العقـد من الزمن، فإنه مع عدم وجود أيٍ من المتطلبات البحثية ضمن بيئة تقانـة النـانو الأمريكية الفيدرالية (الإتحادية) الحالية، فإن استراتيجية أبحاث المخـاطر الصـحية والسلامة تخاطب هذا التساؤل."

وعلى الرغم من ضرورة الحاجة إلى المزيد من الأبحاث الإضافية في المجـال، إلا أن النتائج التي تم تقـديمها اليـوم تظهـر بوضـوح أنـه، تحـت ظـروفٍ محـددةٍ، وخاصةً تلك المرتبطة بالتعرض المزمن، فإن الأنابيب النانوية الكربونية قد تسـفر عن وقوع أضرارٍ خطيرةٍ للصحة البشرية."

التركيب أو التصنيع



شكل (28) مسحوق أنابيب نانوية كربونية.

تطورت الأسـاليب المسـتخدمة لإنتـاج الأنابيـب النانويـة ذات الأحجـام المتناسبة والمعقولة، وكان من بينها؛ تفريغ القوس الكهربـائي والتذريـة الليزريـة، أول أكسيد الكربون عالي الضغط، والترسيب الكيميائي للبخار. مع ملاحظة أن

معظم تلك العمليات تقع تحت الفراغ أو مصاحبةً مع غازات نبيلة. حيث يمكن إنتاج الأنابيب النانوية الكربونية من تنامي الترسيب الكيميائي للبخار في الفراغ أو تحت الضغط الجوي.

تفريغ القوس الكهربائي

لوحظ تواجد الأنابيب النانوية الكربونية عام 1991 في سخام الكربون أقطاب الغرافيت أثناء عملية تفريغ القوس، من خلال استخدام تيار شدته 100 أمبير، والتي قُصِدَ منها إنتاج الفلورين. على الرغم من ذلك، قام باحثان بأول عملية إنتاجٍ للأنابيب النانوية الكربونية الجهرية تمت خلال عام 1992 في معمل الأبحاث الرئيسي التابع لشركة إن إي سي. وكانت الطريقة المستخدمة مثلها مثل الطريقة التي استخدمت قبل ذلك في عام 1991. حيث تسامى الكربون الداخل في تركيب أقطاب الغرافيت السالبة بسبب درجة حرارة التفريغ العالية. وبسبب أن ذلك الأسلوب يمثل الطريقة المستخدمة في اكتشاف تواجد الأنابيب النانوية الكربونية، فقد أصبح أكثر طريقةٍ واسعة الانتشار في تركيب وتصنيع الأنابيب النانوية.

ويمثل عائد تلك الطريقة ما يُقَدَّرُ بحوالي 30٪ من حيث الوزن وتقوم بإنتاج الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار ومتعددة الجدران كلتيهما بأطوال تصل إلى 50 ميكرومتراً بأقل عيوبٍ بنائيةٍ.

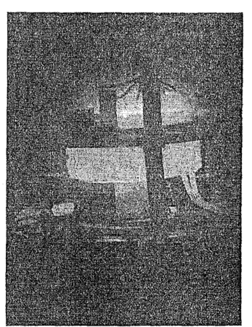
تذرية ليزرية

يُبَخِرُ الليزر النابض في أثناء عملية التذرية الليزرية الغرافيت الهدف في مفاعل ذو درجة حرارة مرتفعة، في حين يضخ الغاز الخامل عبر أرجاء حجرة

المفاعل. وهنا نلاحظ أن الأنابيب النانوية الكربونية تنمو وتتطور على الأسطح الأبرد للمفاعل حيث يتكثف الكربون المتبخِر. ومن ثم، يمكن دمج سطحٍ مُبَرَدٍ بالماء ضمن النظام بهدف تجميع الأنابيب النانوية.

طور د. ريتشارد سمولي تلك العملية بمعاونة مساعديه في جامعة رايس، والذين في أثناء وقت اكتشاف الأنابيب النانوية الكربونية، كانوا يقومون بتسليط الليزر على المعادن لإنتاج جزيئاتٍ معدنيةٍ متنوعةٍ. وعندما سمعوا بوجود ما يسمى الأنابيب النانوية، قاموا باستخدام الغرافيت بدلا من المعادن لإنتاج أنابيب نانوية كربونية متعددة الجدران. وفي وقتٍ لاحقٍ من هذا العام، استخدم الفريق مركباً من الغرافيت وجسيمات حفاز معدنية (وكان أفضل منتجٍ يتم الحصول عليه من خليط الكوبلت والنيكل) بهدف تركيب الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار.

وصل مردود طريقة التذرية الليزرية إلى ما يُقارب 70٪ بالإضافة إلى أنها أنتجت الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار ذات الأقطار المُتَحَكَمُ بها والتي جرى التحكم بها بواسطة درجة حرارة التفاعل. إلا أنها على الرغم من ذلك، تُعَدُ باهظة التكاليف عن عمليتي تفريغ القوس الكهربائي أو التوضع (الترسب) الكيميائي للبخار كلتيهما.



شكل (29) أنابيب نانوية تمت بواسطة بالترسيب الكيميائي للبخار المدعم بالبلازما.

أفادت التقارير حدوث أول عمليةٍ لمرحلة الترسيب الكيميائي للبخار في عام 1959، إلا أنه لم تتكون الأنابيب النانوية الكربونية بواسطة تلك العملية إلا في عام 1993. في حين طور الباحثون في جامعة سينسيناتي في عام 2007 عمليةً لتنمية صفائف الأنابيب النانوية الكربونية المصطفة مع بعضها البعض بطول 18 مليمتراً على أول نظام نمو لأنبوب نانوي كربوني ET3000 بحسب ما أطلق عليه.

وفي أثناء عملية التوضع الكيميائي للبخار، يتم تجهيز ركيزة مع طبقةٍ من جسيمات حفاز معدنية، والتي غالباً ما تكون النيكل، الكوبلت، الحديد أو مزيجاً منها. هذا ومن الممكن إنتاج الجسيمات النانوية المعدنية بطرقٍ أخرى، منها اختزال الأكاسيد أو محاليل الأكاسيد الصلبة. وترتبط أقطار الأنابيب النانوية التي

تنمو بحجم الجسيمات المعدنية. ويمكن ضبط هذا من خلال ترسيب المعدن المنقوش أو (المغطى)، تخمير المعادن حراريا، أو من خلال خرط البلازما لطبقة المعدن. ويتم تسخين الركيزة إلى نحو 700 درجةٍ مئويةٍ تقريباً. ولبدء عملية نمو الأنابيب النانوية، يتم ضخ غازين إلى داخل المفاعل: وهما غاز معالج (على سبيل المثال؛ غاز الأمونيا، النيتروجين أو الهيدروجين) مع غاز حاوي على الكربون (ومنه على سبيل المثال؛ غاز الأسيتيلين، الإيثيلين، الإيثان أو الميثان). ثم تنمو الأنابيب النانوية الكربونية في مواقع البلورة المعدنية؛ حيث يُكَسِّرُ الغاز المحتوي على الكربون على سطح الجسيم المُحَفِز، ثم ينتقل الكربون إلى حواف الجسيم، حيث يُشَكِّل الأنابيب النانوية. وما زالت هذه الآلية في طور الدراسة. ونلاحظ أن الجسيمات المحفزة قد تظل باقيةً على أطراف الأنبوب النانوي النامي خلال عملية النمو أو الإنتاج، أو تَظِلُ عند قاعدة الأنبوب النانوي، وذلك وفقاً للالتصاق أو الالتحام فيما بين الجسيم المُحَفِز والركيزة. كما أن عملية التحلل التحفيزي الحراري للهيدروكربون أصبحت مساحةً نشطةً للبحث والتجريب، بالإضافة إلى أنها تُعَدُ مجالاً واعداً لإنتاج النصيب الأكبر من الأنابيب النانوية الكربونية. هذا ويلعب مفاعل المهد المسيل (Fluidised bed reactor) المفاعل الأوسع استخداماً لتجهيز الأنابيب النانوية الكربونية. إن تحويل المفاعل على النطاق الصناعي يمثل تحدياً رئيسياً في هذا المجال.

ومن ثم تُعَدُ عملية الترسيب الكيميائي للبخار طريقةً شائعةً للإنتاج التجاري للأنابيب النانوية الكربونية. ومن أجل ذلك الغرض، يتم خلط الجسيمات المعدنية النانوية مع المُدَعِّم المحفِز مثل MgO أو O_2Al_3 لزيادة مساحة السطح لتحقيق عائد (مردود) أعلى من التفاعل التحفيزي لمواد التلقيم الكربونية مع الجسيمات المعدنية. ومن إحدى القضايا المتجسدة في مسار

التركيب هذا تتمثل في إزالة التدعيم المحفِّز من خلال المعالجة الحمضية، والتي قد تُدَمِر في بعض الأحيان البنية الأصلية للأنابيب النانوية الكربونية. على الرغم من ذلك، فقد أثبتت المدعمات التحفيزية البديلة، والقابلة للذوبان في الماء، أنها فعالة في عملية نمو الأنابيب النانوية.

في حال تم إنتاج البلازما من خلال تطبيق مجالٍ كهربائيٍ قوي خلال عملية النمو (ترسب كيميائي مُدعم بالبلازما للبخار)، فإن نمو الأنبوب النانوي سيتبع إتجاه المجال الكهربائي. وبتعديل بناء المفاعل، يصبح من الممكن تركيب الأنابيب النانوية الكربونية المصطفة عمودياً (بمعنى أن تكون الأنابيب متعامدةً على الركيزة)، وهو ذلك التكوين الذي يمثل مصدر شغفٍ واهتمامٍ للباحثين المهتمين في انبعاث الإكترون من الأنبوب النانوي. فبدون البلازما، غالباً ما تكون الأنابيب النانوية الناتجة عن عملية النمو عشوائية التوجه. كما أنه تحت بعض ظروف وشروط التفاعل، حتى مع غياب البلازما، فإن الأنابيب النانوية المتقاربة في المسافة ستظل محافظةً على إتجاه نموها العمودي الناجم عن الحزمة الكثيفة من الأنابيب المشابهة لسجادةٍ أو غابةٍ.

مما يجعلنا نقر أنه من بين كل الطرق المستخدمة لإنتاج الأنابيب النانوية الكربونية، فإن عملية الترسب الكيميائي للبخار أثبتت أنها الأكثر وعيداً من أجل الترسب على الصعيد الصناعي، بسبب نسبة السعر/ الوحدة، وكذلك بسبب أن الترسب الكيميائي للبخار قادراً على إنماء الأنابيب النانوية الكربونية مباشرةً على الركيزة المرغوبة، في حين يجب أن يتم تجميع الأنابيب النانوية في طرق الإنماء الأخرى. حيث أن مواقع النمو يتم التحكم بها من خلال عملية الترسب الحذر للعامل المحفز. وفي عام 2007، قام فريقٌ من جامعة ميجو بإجراء عملية ترسيب كيميائية للبخار عالية الكفاءة من أجل إنماء الأنابيب النانوية

الكربونية من الكافور. هذا وقد ركز الباحثون في جامعة رايس، تحت قيادة ريتشارد سمولي حتى وقتٍ قريبٍ، على إيجاد طرقٍ لإنتاج كمياتٍ ضخمةٍ ونقيةٍ من أنواعٍ معينةٍ من الأنابيب النانوية. حيث ساعدت منهجيتهم على إنماء أليافٍ من العديد من البذور الصغيرة والمقطوعة من أنبوب نانوي فردي؛ وكانت كل الألياف الناتجة عن تلك العملية لها نفس القطر كالأنبوب النانوي الأصلي الذي تم أخذ العينات منه ومن المتوقع لها أن تكون من نفس النوع الذي ينتمي إليه هذا الأنبوب النانوي الأصلي.

الإنماء الفائق للترسيب الكيميائي للبخار

طور كلٌ من كينجي هاتا، صوميو إيجيما والمعاونين لهما في المعهد الوطني لعلوم الصناعة والتقنية المتقدمة، باليابان، عملية الإنماء المفرط للترسب الكيميائي للبخار (الترسب الكيميائي للبخار بمساعدة الماء). حيث تحسن نشاط وعمر العامل المُحَفِز بواسطة إضافة الماء إلى مفاعل الترسيب الكيميائي للبخار. ونتج عن تلك العملية إنتاج "غابات" أنابيب نانوية كربونية كثيفة بطول يصل إلى ميليمترٍ، وهي مصطفة بشكل عمودي على الركيزة. وهنا يمكن التعبير عن معدل نمو الغابات من خلال الصيغة التالية:

$$H(t) = \beta\tau_o(1 - e^{-t/\tau_o}).$$

حيث: تشير β في هذه المعادلة إلى معدل النمو المبدئي و τ_o تشير إلى عمر العامل المحفز.

ويزيد سطحها النوعي عن 1,000 م^2/ غرام (مغطاه) أو 2,200 م^2/ غرام (غير مغطاه)، مما يفوق قيمة 400-1,000 م^2/ غرام في عينات HiPco (تحويل CO تحت ضغط مرتفع). وهنا يُلاحظ أن كفاءة التحضير تزيد بنسبة

100 مرةٍ عن طريقة التذرية الليزرية. هذا وقد وصل الوقت المستغرق لإنتاج غابة أنابيب نانوية أحادية الجدار بارتفاع 2.5 مليمتراً باستخدام تلك الطريقة إلى 10 دقائق في عام 2004. مع ملاحظة أن غابات الأنابيب النانوية أحادية الجدار تلك يمكن فصلها بسهولةٍ عن العامل المُحَفِز، مما يجعل الناتج الذي نحصل عليه مواد أنابيب نانوية أحادية الجدار (بنسبة نقاء >99.98٪) بدون إجراء المزيد من عمليات التنقية. ولأجل المقارنة، فإن الأنابيب النانوية الكربونية التي تم إنمائها بطريقة HiPco تحتوى على نسبة شوائب معدنية تتراوح من 5-35٪؛ ومن ثم يتم تنقيتها بواسطة عمليتي التشتت والطرد المركزي واللتان تتسببان في تدمير الأنابيب النانوية وإفسادها. وتتجنب عملية الإنماء الفائق مثل تلك المشكلة. ومن ثم فقد تم تصنيع هياكل الأنابيب النانوية أحادية الجدار المزخرفة والمنتظمة بدرجةٍ عاليةٍ بنجاح بواسطة أساليب الإنماء الفائق.

وتصل كثافة كتلة (Mass density) الأنابيب النانوية فائقة النمو إلى ما يعادل 0.037 غ/ سم^3. وهي أقل بكثير من كثافة الكتلة لمساحيق الأنابيب النانوية الكربونية التقليدية والتي تُقَدَرُ بحوالي ~1.34 غ/ سم^3، ومن المحتمل أن هذا يرجع إلى أن الأخير يحتوي على معادن والكربون غير المتبلور (Amorphous carbon).

وهنا تمثل طريقة الإنماء الفائق تنوعاً أساسياً لطريقة الترسيب الكيميائي للبخار. ومن ثم، فمن الإمكان إنماء المعادن المحتوية على الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار والأنابيب النانوية الكربونية مزدوجة الجدران والأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران، بالإضافة إلى إمكانية تغيير النسب من خلال ضبط شروط النمو. حيث تتغير نسبهم من خلال التحكم بدرجة رقة العامل

المحفز. ونلاحظ أنه يتم ضم العديد من الأنابيب النانوية الكربونية متعددة الأوجه ومن ثم يكون قطر الأنبوب عريضاً.

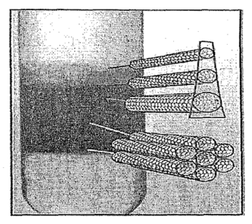
وتنشأ غابات الأنابيب النانوية الكربونية المصطفة عمودياً من "تأثير الاندفاع والانطلاق" (Zipping effect) عندما تنغمس في مذيبٍ ثم يتم تجفيفها بعد ذلك. وينجم تأثير الانطلاق من التوتر السطحي للمذيب وقوى فان دير فالس بين الأنابيب النانوية الكربونية. حيث أنه (تأثير الانطلاق) يسبب اصطفاف الأنابيب النانوية داخل المادة الكثيفة، والتي قد تتشكل في بضعة أشكالٍ مختلفةٍ، ومنها الصفائح، والقضبان، ويتم ذلك بواسطة تطبيق الضغط الضعيف خلال العملية. ويزيد التكثيف من صلابة فيكرز (Vickers hardness) بما يقارب 70 مرةً، والكثافة تصل إلى 0.55 غ/سم^3. ويزيد طول الأنابيب النانوية الكربونية المحزمة معاً عن 1 مليمتراً، كما أن لها نقاءً كربونياً يصل إلى 99.9٪ أو أعلى؛ كما أنها تكتسب خصائص الاصطفاف المرغوبة لغابة الأنابيب النانوية.

بيئات اللهب الطبيعية، العرضية والمضبوطة

ليس بالضرورة أن يتم تصنيع أو إنتاج الفوليرينات والأنابيب النانوية الكربونية في المعامل عالية التقنية؛ حيث أنها غالباً ما تتشكل في مثل تلك الأماكن الدنيوية كألفحة لهبٍ عاديةٍ، تُنْتَجُ من خلال حرق الميثان، الإيثيلين، والبنزين، كما أنها وُجِدَت كذلك في السناج من الهواء الموجود داخل وخارج المنزل. على الرغم من ذلك، فإن تلك التنوعات التي تحدث طبيعياً قد تكون غير منتظمةٍ بدرجةٍ عاليةٍ في الحجم والجودة بسبب أن البيئة التي يتم إنتاجها فيها غالباً ما لا يمكن التحكم فيها وضبطها. ومن ثم، فعلى الرغم من أنه يمكن

استخدامها في بعض التطبيقات، إلا أنها تفتقر إلى درجةٍ عاليةٍ من الاتساق اللازم لإرضاء جميع المتطلبات في مجالي الأبحاث والصناعة. مع ملاحظة أن الجهود الحالية تركزت حول إنتاج أنابيب نانوية كربونية أكثر إتساقاً في بيئات اللهب المضبوطة. وتتسم تلك الطرق بأنها واعدةً على قطاعٍ عريضٍ، كما أنها رخيصة التكلفة وينتج عنها أنابيب نانوية كربونية رخيصة الإنتاج، وذلك على الرغم من أنه يجب أن تتنافس مع الأنابيب النانوية الكربونية المنتجة بواسطة طريقة الترسيب الكيميائي للبخار واسعة الانتشار والمتنامية بسرعة.

قضايا مرتبطة بالتطبيق



شكل (30) أنبوب للطرد المركزي به محلول لأنابيب نانوية كربونية، والتي تم تصنيفها بواسطة القطر باستخدام عملية التنبيذ الفائق (Differential centrifugation) متدرج الكثافة.

تعتمد العديد من التطبيقات الإلكترونية للأنابيب النانوية الكربونية بصورةٍ دقيقة على أساليب إنتاج كلٍ من الأنابيب النانوية الكربونية شبيهة الموصلات أو المعدنية بصورةٍ اختياريةٍ، ويُفَضَلُ أن تكون لها يدوانيةً معينةً. مع ملاحظة أن العديد من طرق فصل الأنابيب النانوية الكربونية شبيهة الموصلات

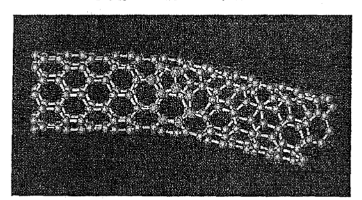
أو المعدنية معروفة، إلا أن معظمها ما زال غير مناسباً للعمليات التقنية على صعيدٍ واسع. حيث تعتمد أكثر طريقةٍ ذات كفاءةٍ على عملية التنبيذ الفائق متدرج الكثافة والتي تفصل الأنابيب النانوية ملفوفة- السطح بواسطة الاختلاف الصغير في كثافتها. وغالباً ما يتحول هذا الاختلاف في الكثافة إلى اختلافٍ في أقطار الأنابيب النانوية وخصائصها (شبه) الموصلة. ومن الطرق الأخرى للفصل تلك التي تقوم على استخدام تسلسل عملية التجميد، ثم الذوبان، ثم ضغط الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار التي تمثل جزءً لا يتجزء من هلام الأغاروز (agarose). وينتج عن تلك العملية محلولاً يحتوي على 70٪ أنابيب نانوية كربونية أحادية الجدار ويُخَلِّفُ الهلام محتوياً على 95٪ أنابيب نانوية كربونية أحادية الجدار من أشباه الموصلات. ويظهر المحلول المخفف المنفصل بواسطة هذه الطريقة العديد من الألوان. علاوةً على ذلك، فمن الممكن أن تنفصل الأنابيب النانوية الكربونية باستخدام طريقة كروماتوجرافيا العمود (column chromatography). ونلاحظ أن الناتج الذي نحصل عليه يتمثل في صورة 95٪ أنابيب نانوية كربونية أحادية الجدار من أشباه الموصلات و90٪ من الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار معدنية النوع.

بالإضافة إلى فصل الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار من أشباه الموصلات والمعدنية، فمن الممكن أيضاً تصنيف الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار اعتماداً على الطول، القطر، واليدوانية. وتم تحقيق أعلى تصنيف أعلى طول محلولٍ، مع تنوعٍ طوليٍ لأقل من 10٪، من خلال كروماتوغرافيا الاستبعاد الحجمي (size exclusion chromatography) لأنابيب نانوية كربونية مبعثرة في الحمض النووي. وقد تم فصل قطر الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار بواسطة تنبيذ فائق متدرج الكثافة (density-gradient

ultracentrifugation) من خلال استخدام الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار مبعثرة في عوامل الفعالية السطحية، وكذلك من خلال كروماتوغرافيا تبادل الأيون لما بين الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار والحامض النووي كما تم تنقية اليدوانيات المفردة كذلك بواسطة كروماتوغرافيا تبادل الأيون لما بين الأنابيب النانوية الكروبنية أحادية الجدار والحمض النووي. (ion-exchange chromatography (IEC) for DNA-SWNT): حيث يمكن استخدام قليل وحدات الحمض النووي القصير الخاص لعزل يدوانيات الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار المفردة. ومن ثم، فقد تم عزل حتى الآن 12 يدوانية بنقاوات تتراوح من 70٪ ما بين (8.3) و(9.5) أنابيب نانوية كربونية أحادية الجدار إلى 90٪ للأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار (6.5)، (7.5) و(10.5). هذا وقد بُذِلَت جهودٌ ناجحةٌ لدمج هذه الأنابيب النانوية المنقاة داخل الأجهزة ومنها على سبيل المثال الترانزستور الحقلي. تمثل تطوير وتنمية النمو الانتقائي للأنابيب النانوية الكربونية أشباه الموصلة أو المعدنية إحدى البدائل لعملية الفصل. كما تم الإعلان مؤخراً عن وصفةٍ جديدةٍ لطريقة الترسيب الكيميائي للبخار والتي تتضمن خليطاً أو مزجاً من أبخرة الإيثانول والميثانول بالإضافة إلى ركائز الكوارتز، منتجةً جميعها حزماً مصطفةً أفقياً بنسبة 95-98٪ أنابيب نانوية كربونية من أشباه الموصلات.

وغالباً ما تنمو الأنابيب النانوية على الجسيمات النانوية للمعادن المغنطة ومنها (الحديد والكوبلت)، والتي تُسَهِلُ إنتاج الأجهزة الإلكترونية (المعتمدة على اللف المغزلي). حيث أنه تم تحقيق ضبط للتيار في مثل تلك الأنابيب النانوية أحادية الأنبوب من خلال الترانزستور الحقلي بواسطة المجال المغناطيسي.

التطبيقات المحتملة للأنابيب النانوية الكربونية



شكل (31) اقتراح انضمام أنبوبي نانويين كربونيين ذي خصائصٍ كهربائيةٍ مختلفةٍ لتشكيل صماماً ثنائياً.

تُفيد صلابة ومرونة الأنابيب النانوية الكربونية في احتمالية استخدامها في ضبط الهياكل النانوية الأخرى، مما يفترض أن يكون لها دوراً هاماً في مجال هندسة تقانة الصغائر. حيث اختبرت أعلى قوة شدٍ لأنبوبٍ نانويٍ كربونيٍ مفردٍ متعددٍ الجدران لتصبح 63 غيغا باسكال. هذا وقد وجدت الأنابيب النانوية الكربونية في الفولاذ الدمشقي العائد إلى القرن السابع عشر الميلادي، مما يتيح الفرصة في تفسير القوة الأسطورية للسيوف الدمشقية المصنوعة من هذا المعدن.

بنيوية

ونتيجة الخصائص الميكانيكية الفائقة للأنابيب النانوية الكربونية، فمن المقترح أن تنافس الهياكل المتعددة، والمتمثلة في تلك الحاجات المستخدمة في مجالات الحياة اليومية من ملابس وأدوات الرياضة، السترات والمصاعد الفضائية. بيد أن المصاعد الفضائية ستتطلب المزيد من الجهود المبذولة لتنقية تقانة الأنابيب

النانوية الكربونية، حيث يمكن حينئذٍ تحسين وتطوير قوة الشد العملية للأنابيب النانوية الكربونية بصورةٍ كبيرةٍ.

ومن أجل التوقعات المستقبلية، تم صياغة العديد من الأفكار العلمية البارزة. حيث أظهرت الجهود الرائدة لراي بومان، في معهد نانو تيك، أن الأنابيب النانوية فردية ومتعددة الجدران لها القدرة على إنتاج موادٍ لها صلابةٍ لا تقارن بما صنعه الإنسان وبما هو موجود في الطبيعة كذلك.

في الدارات الكهربائية

تم تصنيع مقاحل الأنابيب النانوية والمعروفة كذلك باسم ترانزستورات المفعول المجالي CNTFET لتقوم بمهام عملها في درجة حرارة الغرفة، بالإضافة إلى أنها قادرةٌ كذلك على التحول الرقمي باستخدام إلكترونٍ واحدٍ. على الرغم من ذلك، ترجع العقبة الرئيسية في الحصول على الأنابيب النانوية الكربونية إلى الافتقار إلى التكنولوجيا في الإنتاج الشامل. أوضح باحثوا شركة آي بي إم في عام 2001 كيفية تدمير الأنابيب النانوية المعدنية، مُخَلِّفِين وراءهم أنابيباً نانويةً من أشباه الموصلات بهدف استخدامها كمقاحل. ويُطلق على تلك العملية "التدمير البنائي" والتي تتضمن التدمير التلقائي للأنابيب النانوية المعيبة المتواجدة على الرقاقة. إلا أنه على الرغم من ذلك، فلا تمنحنا تلك العملية سوى ضبطاً للخصائص الكهربائية على صعيدٍ إحصائيٍ.

هذا وقد ظهرت احتمالية استخدام الأنابيب النانوية الكربونية في عام 2003، عندما أفادت التقارير تطوير ترانزستورات باليستية لها نقاط تماس معدنية أومية لها ثابت عزل مرتفع (High-k dielectric)، مما يُظْهِرُ قدرتها الفائقة بـ 20–30 مرةً (على) التيار عن السيليكون المستخدم في MOSFET. وقد مثّلَ

هذا التقدم طفرةً في مجال الأنابيب النانوية الكربونية والذي سمح بأن يُنْظَرُ إليها على أنها تفوق السيليكون في الأداء. ومن هذا المنظور، اتضح أن البالاديوم، والذي يتسم بأنه معدنٌ له دالة شغل مرتفعة، له القدرة على تشكيل نقاط اتصال بدون حاجز شوتكي (Schottky barrier) مع الأنابيب النانوية الكربونية من أشباه الموصلات ذات الأقطار > 1.7 نانومتراً.

وتم دمج أول أنبوب نانوي في دارةٍ للذاكرة عام 2004. إلا أن واحداً من التحديات تمثل في تنظيم قدرة الأنابيب النانوية على التوصيل. وبالاعتماد على الخصائص السطحية الفريدة للأنبوب النانوي، فإنه قد يعمل كموصلٍ بسيطٍ للكهرباء أو حتى كشبيه للموصلات. كما تم تطوير طريقةٍ آليةٍ تماماً للتخلص من أنابيب أشباه الموصلات.

ومن الطرق الأخرى لتصنيع مقاحل الأنابيب النانوية الكربونية استخدام الشبكات العشوائية الخاصة بهم. وعند القيام بذلك، يستطيع المرء أن يوجد معدلاً لكل اختلافاتها الكهربائية بالإضافة إلى أنه ستكون له القدرة كذلك على إنتاج أجهزةٍ واسعة النطاق على مستوى الرقاقة. وكانت شركة نانوميكس هي الأولى التي حصلت على براءة اختراعٍ لذلك المنتَج. (ويرجع تاريخ التطبيق الأصلي إلى يونيو 2002). حيث أن مختبر أبحاث البحرية الأمريكي (United States Naval Research Laboratory) هو أول من نشر ذلك التطبيق في الدوريات الأكاديمية المتخصصة في عام 2003 عبر العمل البحثي المستقل. كما مكن هذا المُدْخَل كذلك شركة نانوميكس لأن تقوم بإنتاج أول مقحلٍ على ركيزةٍ ثابتةٍ ومتحركةٍ.

كما يمكن استخدام الهياكل كبيرة الحجم من الأنابيب النانوية الكربونية في عمليات المعالجة الحرارية للدارات الإلكترونية. حيث استخدمت طبقة من

الأنابيب النانوية الكربونية ذات سمكٍ وصل إلى 1 نانومتراً كمادةٍ خاصةٍ في تصنيع المبردات، حيث تتسم تلك المادة بأن لها كثافةً منخفضةً جداً، ~20 مرةً في الوزن عن مثيلاتها من بنية أو هيكل النحاس، في حين تكون الخصائص المُبَرِّدة متشابهةً للمادتين كلتيهما.

وإجمالاً، لم يتم حتى وقتنا هذا دمج الأنابيب النانوية الكربونية كمقاحلٍ ضمن دارات البوابات المنطقية ذات الكثافات المتوافقة مع تقانة شبه موصل أكسيد الفلز المكمل الحديثة.

كبطاريات ورقية

البطارية الورقية عبارة عن بطارية ينبع تصميمها من استخدام صفيحة رقيقة من الورق المصنع من السليولوز (والذي يمثل المقوم الرئيسي للورق العادي، فيما بين بعض العناصر الأخرى) والمدمج أو المغروس مع الأنابيب النانوية الكربونية المصطفة معاً. وهنا تلعب الأنابيب النانوية دور الأقطاب الكهربائية؛ مما يسمح لأجهزة التخزين بتوصيل الكهرباء. وتوفر البطاريات، والتي تعمل على شكلين؛ كبطارية أيون- الليثيوم وكمكثفٍ فائقٍ (supercapacitor)، بإمكانه تزويد طاقة طويلة الأمد وثابتة، عند مقارنتها بالبطارية التقليدية.

الخلايا الشمسية

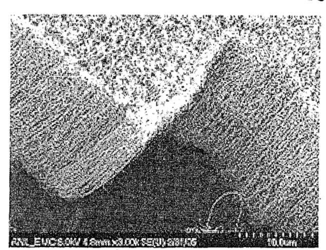
استخدمت الخلايا الشمسية المتطورة في معهد نيوجرسي للتقنية (New Jersey Institute of Technology) أنبوباً نانوياً كربونياً، والمكون من خليطٍ من الأنابيب النانوية الكربونية وكريات بوكي الكربونية (والمعروفة باسم الفوليرينات)، والهادفة إلى تشكيل هياكل شبيهة بالثعابين. وتحتجز كريات البوكي

الإلكترونات، على الرغم من أنها لا تستطيع أن تجعل الإلكترونات تتدفق، بحيث أن تسليط أشعة الشمس سيسبب استثارة للمكوثرات، بالمقابل فإن كريات البوكي ستحتجز الإلكترونات. ومن ثم تستطيع أنابيب النانو، والتي تسلك كأسلاك النحاس، أن تجعل الإلكترونات أو التيار يتدفق حينئذٍ.

المكثفات الفائقة

يستخدم مختبر معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا للأنظمة الإلكترونية والكهرومغناطيسية الأنابيب النانوية لتحسين المكثفات الفائقة (ultracapacitor). حيث يحتوي الفحم المنشّط المستخدم في المكثفات الفائقة التقليدية على العديد من الفراغات المجوفة بأحجامٍ مختلفةٍ، والتي تنتج مع بعضها البعض مسطحاً ضخماً لتخزين الشحنة الكهربائية. إلا أنه وبما أن الشحنة يتم تثبيت قيمتها الحجمية إلى شحناتٍ ابتدائيةٍ، كما هو الحال في الإلكترونات، وأن كل شحنةٍ ابتدائيةٍ تتطلب حد أدنى من المساحة، فإن جزءً كبيراً وهاماً من سطح القطب يكون غير متاحٍ للتخزين بسبب أن المساحات الفارغة ليست متوافقةً مع متطلبات الشحنة. إلا أنه مع استخدام قطب الأنبوب النانوي، قد لا يتم تجزئة المساحات إلى أخرى أصغر حجماً أو أكبر مما هو مطلوب- ومن ثم فمن المفترض زيادة الكفاءة اعتباراً لذلك.

تطبيقات أخرى



شكل (32) الأنابيب النانوية المصطفة معاً هي المفضلة للاستخدام في العديد من التطبيقات.

طُبقَت الأنابيب النانوية الكربونية في الأنظمة الكهرونانوميكانيكية، ومنها عناصر الذاكرة الميكانيكية ذاكرة الوصول العشوائي النانوية، والتي طورتها شركة نانتيرو (Nantero Inc)) وكذلك محركات النانو الكهربائية (انظر محرك نانوي).

وفي عام 2005، عرضت شركة نانوميكس في الأسواق مستشعراً هيدروجينياً والذي يتسم بأنه يدمج الأنابيب النانوية على أرضيةٍ من السيليكون. ومنذ ذلك الحين، حصلت شركة نانوميكس على براءات اختراعٍ للعديد من تطبيقات المستشعر ومنها مثلاً تلك في مجال استكشاف ثاني أكسيد الكربون، أكسيد النيتروز، الغلوكوز، والحامض النووي...إلخ.

ونتيجة الأبحاث التي أجريت في جامعة كاليفورنيا، أظهرت ريفرسايد أن أنابيب النانو الكربونية تُشكل سقالة ملائمة لتكاثر الخلايا البانية للعظم (osteoblast proliferation) وتكوين العظام كذلك.

وبمعاونة كلٍ من شركة "إيكوس" التابعة لفرانكلين، بماساتشوستس، وشركة "يونيديم" في وادي السيلكون، أصبح بالإمكان تطوير أغشية رقيقة من الأنابيب النانوية الكربونية، تتسم بأنها شفافة وموصلة كهربائياً، بهدف أن تحل محل أكسيد إنديوم قصدير. وتتسم أغشية الأنابيب النانوية الكربونية الرقيقة تلك بأنها قوية ومتينة ميكانيكياً عن أغشية أكسيد إنديوم قصدير، مما يجعلها مثاليةً لأن تُستخدم في تصنيع شاشات اللمس عالية الدقة والصلابة وكذلك شاشات العرضٍ المرنة. كما أن أحبار الأنابيب النانوية الكربونية ذات الأساس المائي والقابلة للطباعة هي المفضلة في إنتاج مثل تلك الأغشية الرقيقة لتحل محل أكسيد إنديوم قصدير. مما جعل من أغشية الأنابيب النانوية الرقيقة واعدةً للاستخدام في مجال تصنيع شاشات الكمبيوتر، الهواتف الخلوية، المساعد الرقمي الشخصي وكذلك آلات الصراف الآلي.

الراديو النانوي (nanoradio)، هو عبارة عن مستقبل راديو يتكون من أنبوب نانوي فردي، حيث تم وصفه في 2007. وفي عام 2008 تم توضيح أن صفيحةً من الأنابيب النانوية لها القدرة على العمل كمكبر صوتٍ في حال تطبيق تيار متناوب. مع ملاحظة أن الصوت لا يُنْتَج بواسطة الاهتزازات ولكن بصورة صوتيات ثرموديناميكية (thermoacoustics).

ونتيجة قوة ومتانة الأنابيب النانوية الكربونية العالية، فقد اتجهت الأبحاث إلى نسجها مع الأقمشة لصناعة قماشٍ مقاومٍ للطعناتٍ ومضادٍ للرصاص. حيث أنه سيكون للأنابيب النانوية الكربونية القدرة بفعالية على منع الرصاص من اختراق الجسم، على الرغم من أن الطاقة الحركية للرصاص قد يتجم عنها تكسرٍ للعظام أو نزيفٍ داخليٍ.

كما أن للحدافة (دولاب الموازنة) المصنوعة من الأنابيب النانوية الكربونية

القدرة على الدوران، في حالة السرعات العالية الحادة، على محورٍ مغناطيسي عائمٍ في الفراغ، ومن المحتمل أن تقترب عملية تخزين الطاقة في الكثافة من أنواع الوقود الأحفورى التقليدية. ونتيجة أن الطاقة يمكن إضافتها أو التخلص منها في الحدافات بكفاءةٍ في صورة كهرباء، فإن هذا قد يعرض طريقةً لتخزين الكهرباء، مما يجعل الشبكات الكهربائية أكثر كفاءةٍ في عملها وتجعل من موارد الطاقة المتعددة (كمولدات طاقة الرياح) أكثر فائدةً في مواجهة متطلبات الطاقة المختلفة. وهنا نلاحظ أن كيفية تحقيق هذا عملياً تتمد بصورةٍ كبيرةٍ على تكلفة تصنيع هياكل الأنابيب النانوية الكتلية الغير متكسرةٍ، بالإضافة إلى معدل فشلها على العمل تحت الجهد.

كما استُخْدِمَت الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار متناهية القصر ككبسولاتٍ نانويةٍ لتوصيل عوامل الرنين المغناطيسي كمادة تباينٍ حيويةٍ.

كما أنه من المحتمل أن تحل الأنابيب النانوية الكربونية المشابة بالنيتروجين محل حفازات البلاتين المستخدمة لاختزال الأكسجين في خلايا الوقود. حيث قد تستطيع غابة من الأنابيب النانوية المصطفة عمودياً من اختزال الأكسجين في المحلول القلوي بصورةٍ أكثر فعاليةٍ من البلاتين، والذي اسْتَخْدِمَ في مثل تلك التطبيقات منذ الستينات من القرن العشرين. وهنا نلاحظ أن الأنابيب النانوية تستمتع بفائدة عدم خضوعها للتسمم بأول أكسيد الكربون.

الاكتشاف

تسلسل زمني للأنابيب النانوية الكربونية

كتب كلٌ من مارك مونثيوكس وفلاديمير كوزنيتسوف في إحدى المقالات

الافتتاحية بجريدة "كربون" عام 2006 عن أصل الأنابيب النانوية الكربونية المثير والذي كثيراً ما يساء تحديده. حيث تعزو العديد من الأدبيات البحثية الشهيرة والأكاديمية اكتشاف الأنابيب الجوفة النانوية والمكونة من الكربون الغرافيتي إلى "سوميو إيجيما" العامل بشركة إن إي سي عام 1991.

وفي عام 1952 نشر كلٌ من "ل. ف. رودوشكوفيتش" و"ف. م. لوقانوفيتش" صوراً واضحةً لأنابيب نانوية ذات أقطار 50 نانو مصنوعة من الكربون في منشور الكيمياء الفيزيائية السوفيتي. إلا أن هذا الاكتشاف لم يلق الاهتمام بصورةٍ كبيرةٍ، خاصة أن المقالة كانت قد نُشِرَت باللغة الروسية، كما أن وصول العلماء الغربيين إلى الصحافة السوفيتية كان محدوداً خلال فترة الحرب الباردة. لذلك فمن المرجح أنه تم إنتاج الأنابيب النانوية قبيل ذلك التاريخ، إلا أن اختراع المجهر الإلكتروني النافذ سمح برؤية تلك الهياكل النانوية مباشرةً.

وكانت الأنابيب النانوية الكربونية قد تمت ملاحظتها وإنتاجها تحت بعض الظروف المتنوعة قبيل ذلك التاريخ 1991. حيث أظهرت دراسةٌ أجراها كلٌ من أوبرلين، إندو وكوياما، والتي نُشِرَت عام 1976، بوضوح أليافاً نانويةً كربونيةً ذات أقطارٍ نانويةٍ الأبعاد باستخدام أسلوب النمو البخاري. هذا بالإضافة إلى أن المؤلفين عرضوا صورةً بالمجهر الإلكتروني النافذ لأنبوب نانوي يتكون من حائطٍ واحدٍ من الغرافين. في حين أشار إندو لاحقاً إلى تلك الصورة على أنها لأنبوب نانوي أحادي الجدار (كما هو معروف حالياً).

في حين قدم جون أبراهامسون في عام 1979 دليلاً من الأأنابيب النانوية الكربونية في مؤتمر بينيل الرابع عشر للكربون في جامعة ولاية بنسيلفانيا (Pennsylvania State University). حيث قدمت ورقة المؤتمر البحثية وصفاً للأنابيب النانوية الكربونية على أنها أليافاً كربونيةً تم إنتاجها على أقطاب

الكربون خلال عملية تفريغ شحنة القوس. كما تم تقديم تشخيص لهذه الألياف بالإضافة إلى افتراض نموها في محيط نيتروجين تحت ضغط جوي منخفض.

وفي عام 1981، نشرت مجموعةٌ من العلماء السوفييت نتائجاً للتشخيص الكيميائي والبنائي التكويني للأنابيب النانوية الكربونية المنتجة بواسطة عدم التناسب التحفيزي الحراري (thermocatalytical disproportionation) لأحادي أكسيد الكربون. حيث افترض المؤلفين بناءً على الصور المستخدمة من المجهر الإلكتروني النافذ ونماذج حيود الأشعة السينية، أن "بلورات الكربون متعددة الطبقات الأنبوبية" تشكلت من خلال لف وطي طبقات الغرافين إلى اسطواناتٍ. كما توقعوا أنه بواسطة طي طبقات الغرافين إلى اسطوانات، فمن الممكن الحصول على تشكيلاتٍ شبكيةٍ سداسيةٍ متعددة الترتيبات للغرافين. كما اقترحوا كذلك إمكانيتين لتلك الترتيبات وهما: الترتيبات الدائرية (الأنابيب النانوية أريكية الشكل) والحلزونية، وكذلك ترتيباتٍ حلزونيةٍ (ولكنها يدوانيةٍ أو كيراليةٍ).

أما في عام 1987، فقد نشر هوارد تينيت، بشركة "هايبريون للتحفيز" (Hyperion Catalysis)، براءة اختراعٍ أمريكي لإنتاج "الألياف الكربونية اسطوانية الشكل المنفصلة" ذات "قطرٍ ثابتٍ يترواح بين 3.5 و70 نانومتراً تقريباً، في حين يصل طولها إلى 10^2، ومنطقةً خارجيةً للطبقات المتعددة المستمرة من ذرات الكربون ومحوراً داخلياً مميزاً."

هذا وساعد اكتشاف "إيجيما" عام 1991 للأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران لأقطاب مادة الغرافيت المحروقة بالقوس الكهربائي والغير القابلة للذوبان، بالإضافة إلى تنبؤ كلٍ من "مينتيمير"، "دوبلان"، و"وايت" المستقل أن الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار يمكن تصنيعها، حيث أنها قد تظهر

خصائصاً موصلةً مميزةً، على خلق الضجة الإعلامية المصاحبة الآن لقضية الأنابيب النانوية الكربونية. كما تسارعت الأبحاث في مجال الأنابيب النانوية إثر تلك الاكتشافات المستقلة لبيثون في شركة آي بي إم وإيجيما بشركة إن إي سي للأنابيب النمانوية الكربونية أحادية الجدار وطرق إنتاجها بصورةٍ خاصةٍ من خلال إضافة حفازات فلزية انتقالية للكربون في تفريغ القوس. وقد كان أسلوب تفريغ القوس معروفاً في إنتاج فوليرين بوكمينيستر المشهور وذلك على نطاق واسع نسبيا (كميات كبيرة نسبياً مقارنة مع التحضير المخبري القليل)، كما ظهر أن تلك النتائج أدت إلى توسع مجرى الاكتشافات العَرَضية والتي انتهت بالفوليرين. إلا أنه لم يتم توقع الملاحظة الأصلية للفوليرينات في مطيافية الكتلة، كما أنه تم استخدام أسلوب الإنتاج الشامل الأول بواسطة "كريتشمر" و"هافمان" لسنواتٍ عديدةٍ قبيل إدراك أنه ينتج الفوليرينات.

وما زالت قضية اكتشاف الأنابيب النانوية من القضايا الجدلية القائمة حتى الوقت الحالي. فالعديد يصدقون أن تقرير إيجيما في عام 1991 له أهميته الخاصة بسبب أنه جلب انتباه المجتمع العلمي ككل إلى الأنابيب النانوية الكربونية.

(2) فوليرين

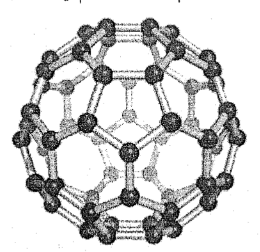
الفوليرين (Fulluren) عبارة عن جزيئات تتكون بالكامل من ذرات الكربون وتكون على شكل كرة مجوفة، وتسمى أحيانا كرات بوكي buckyballs. يعد الفوليرين أحد متآصلات الكربون وذلك بالإضافة إلى الألماس والغرافيت والكربون اللابلوري مثل السناج والفحم النباتي.

يتشكل الفوليرين بتسخين الغرافيت في الهيليوم إلى أن يتبخر، ثم يترك ليبرد ويتكثف، وتترتب ذراتها في أنماط مسدسة ومثمنة شبيهة بالموجودة على كرة القدم.

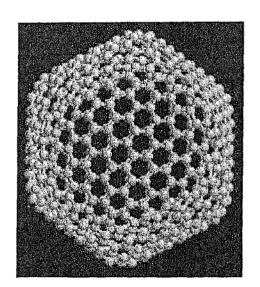
الاكتشاف

قبل أن يكتشف الفوليرين كانت هناك تخمينات وتوقعات لبنى مركبات تشبه الفوليرين في بنيتها. ففي إحدى الدوريات العلمية عام 1965 اقترحت بنية على شكل قفص عشروني الوجوه لمركب $H_{60}C_{60}$ وذلك كإحدى البنى الفراغية الممكنة. إن وجود مركبات C_{60} تم التنبؤ بها من قبل إيجي أوساوا Eiji Osawa من جامعة تويوهاشي للتكنولوجيا عام 1970 حيث لاحظ أن بنية الكورانولين Corannulene تشبه شكل قطاع من كرة القدم، وافترض أن الشكل الكامل للكرة يمكن أن يكون موجوداً. نشر أوساوا أبحاثه في الدوريات العلمية اليابانية لكن أفكاره لم تصل إلى أوروبا أو الولايات المتحدة.

باستخدام تقنية مطيافية الكتلة لوحظ وجود قمم توافق تماما كتلة 60 ذرة كربون. تمكن كل من هارولد كروتو وروبرت كورل وريتشارد سمولي من جامعة رايس من اكتشاف مركب C_{60} ومن بعده الفوليرينات. وحاز ثلاثتهم على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1996 لدورهم في هذا الإنجاز.



شكل (33) نموذج لكاربون C_{60}.



شكل (34) نموذج لمركب فوليرين C_{540}

(3) الغرافين

الغرافين مادة كربونية من منتوجات تقانة النانو. طورها علماء من جامعة مانشستر سنة 2004. وهي هجين إلكتروني من نوع sp^2. المادة عبارة عن صفيحة بطول 50 ذرة وعرض ذرة واحدة. أبرز مزايا هذه المادة، السرعة الفائقة لإلكتروناتها، حيث تبلغ (44000 سم^2\ ث.ف) عند درجة حرارة الغرفة. فيتوقع لهذه المادة أن تساعد في رفع سرعة الحواسيب وشاشات اللمس إلى مستويات عليا. حيث ذكر باحثون من IBM في صفر 1431 هـ \ فبراير 2010 أنهم حققوا سرعات تصل إلى 100 قيقاهرتز باستعمال مقحل من مادة الغرافيين.. ومن الأسباب كذلك التي تدعم مادة الغرافين إمكانية تشويب مادة القرافين وصنع نبيطة بخطوة واحدة.. الأمر الذي يرشحه لإزاحة السيليكون عن عرش أشباه الموصلات.

الانتاج

دعيت المادة بالغرافين لإنها مشتقة من الغرافيت. حيث تعرض بلورة القرافيت لمحاليل لأحماض، مثل حمض الآزوت وحمض الكبريت.

الشكل

يتخذ الغرافين شكل شبكة تشبه قرص العسل، الغرافين المثالي يكون على هيئة سداسية لكن عيوب التصنيع ربما تخلفه إلى هيئة خماسية أو سباعية. ويعد حجر أساس يمكن أن تشكل منه أي مادة كربونية حتى الغرافيت ذاته إضافة للفولرين وألياف الكربون. على سبيل المثال 15 خماسي غرافين يشكلون فولرين. يعد تصنيع القراغين على هيئة سداسية مستوية أمرا عسيرا وباهظا، حيث تكلف عينة بحجم شعرة الرأس 1000 دولار أمريكي. لكن هذا لم يقف عائقا أمام إنتاج رقاقة قرافين بقطر 100 ملم في جامعة ولاية بنسلفانيا [4] يتوقعون لها نظريا أن تفوق سرعة رقاقة السيليكون 100 مرة.

الاستعمالات الصناعية

يُعتقد على نطاق واسع أن مادة الغرافين هي البديل لمادة السليكون. إن مميزات مادة الغرافين لا تكاد تُضاهى فهي صلبة جدا ورقيقة وسعرها مناسب. تقوم العديد من الشركات حاليا بمحاولات للاستثمار فيها. إن تصور الاستخدامات المستقبلية للغرافين يُمكن مقارنته باستخدام البلاستك (النايلون).

طباعة حجرية نانوية

يشير مصطلح الطباعة الحجرية النانوية (Nanolithography) إلى عملية تصنيع الهياكل والأجسام على المستوى النانوي، ونقصد بتلك الهياكل كل

النماذج ذات أحد الأبعاد الجانبية على الأقل يتراوح حجمها بين ذرةٍ واحدةٍ و100 نانومتراً تقريباً. حيث تستخدم الطباعة الحجرية النانوية في أثناء عملية تصنيع دارات أشباه الموصلات المتكاملة (semiconductor integrated circuits) (دوائر النانو) (nanocircuitry) أو في تصنيع الأنظمة النانوية الكهروميكانيكية (nanoelectromechanical systems).

ومن ثم تمثل الطباعة الحجرية النانوية ذلك الفرع من تقانة الصغائر، والذي يتناول دراسة وتطبيق الهياكل النانوية ومنها دارات أشباه الموصلات (semiconductor circuit).

حيث أصبح مجال الطباعة النانوية الحجرية مجالاً خصباً وثرياً للبحث الأكاديمي والصناعي منذ عام 2007م.

الطباعة الحجرية الضوئية

طباعة حجرية ضوئية(Photolithography)

للطباعة الحجرية البصرية، وهي ذلك النموذج التقني السائد منذ ظهور عصر أشباه الموصلات، القدرة على إنتاج نماذجٍ ثانويةٍ بمقياس 100 نانومتر من خلال استخدام أطوال الموجة القصيرة جداً very short wavelengths (وحالياً وصلت مقاييس تلك النماذج إلى 193 نانومتر). إلا أن الطباعة النانوية البصرية ستتطلب استخدام تقنيات غمر السائل (immersion lithography) وحشد لتعزيز الانحلال (قناع المرحلة المؤقتة (phase-shift mask)، تصحيح التقارب الضوئي (optical proximity correction)) عند عقدة الـ 32 نانومتر. كما يعتقد معظم الخبراء أن الطباعة الحجرية البصرية التقليدية لن تكون مؤثرة

التكاليف عندما تقل عن 22 نانومتر. حيث أنه عند تلك النقطة، يمكن أن يحل محلها أساليب تقانة الجيل الجديد للطباعة الحجرية (next-generation lithography).

أساليب أخرى لتقانة الطباعة الحجرية النانوية

- قد تمتد الطباعة النانوية بالأشعة السينية (X-ray lithography) لتشمل إحلالاً بصرياً (an optical resolution) على مقياس 15 نانومتر من خلال استخدام أطوال الموجة القصيرة لـ واحد نانومتر وذلك بهدف الإنارة. ويتم تنفيذ هذا من خلال استخدام نهج طباعة التقريب (proximity printing approach). كما تم تطوير هذا الأسلوب إلى مدى معالجة الكمية. حيث يعتمد امتداد تلك الطريقة على أشعة إكس الخاصة بالمجال القريب الموجود بحيود فرينسل (Fresnel diffraction): حيث تعد صورة feature القناع الواضحة "مصغرة" من خلال التقرب من الرقاقة القائمة بالقرب من "الحالة الحرجة". حيث تقرر هذه الحالة فجوة القناع للرقاقة (mask-to-wafer gap) وتعتمد على كلٍ من الحجم وصورة وضوح القناع بالإضافة إلى الطول الموجي. وهذه الطريقة بسيطة حيث أنها لا تتطلب استخدام عدساتٍ.
- طريقة pitch resolution enhancement والتي تعبر في الحصول على القبول تمثل عملية زخرفةٍ مزدوجةٍ (double patterning). ويزيد هذا الأسلوب من كثافة الصورة من خلال طباعة صورةٍ جديدةٍ فيما بين الصور التي تم طباعتها مسبقاً على نفس الطبقة. وهي تعد طريقةً مرنةً نتيجة أن يمكن تعديلها لتستخدم لأي واجهةٍ أو أسلوب زخرفةٍ. وهنا يتم تقليل حجم الصورة من خلال استخدام أساليب الطباعة الغير حجرية ومنها التنميش أو الكشط (etching) أو الفواصل الجدارية (sidewall spacers).

- ويتسم العمل على أداة الطباعة الحجرية الغير مقنّعة البصرية (optical maskless lithography) بالتقدم والتطور. حيث تستخدم تلك الأداة شعاع المرآه الدقيق الرقمي (digital micro-mirror array) بهدف التعامل أو التلاعب مع الشعاع المنعكس بدون الحاجة إلى قناعٍ متداخلٍ. إلا أن الإنتاجية بطبيعتها تكون منخفضةً، إلا أن التخلص من تكلفة الإنتاج المرتبط بالقناع- والتي تتزايد باطرادٍ مستمرٍ مع كل تقدمٍ تكنولوجيٍ جديدٍ- تعني أن مثل ذلك النظام قد يكون أكثر تأثيراً من ناحية التكلفة في حالة الإنتاج الصغير لدولة دوائر الفن، كما هو الحال في معامل الأبحاث، حيث لا تمثل إنتاجية الأداة أي اهتمامٍ هناك.

- إلا أن أكثر تقنية عامة للطباعة الحجرية النانوية تتمثل في طباعة الكتابة المباشرة بشعاع الالكترون (Electron-Beam Direct-Write Lithography)، والتي تقوم على استخدام شعاع الإلكترونيات بهدف إنتاج نموذج- والذي عادةً ما يستخدم في المقاومة البوليمرية ومنها مثلاً Poly methyl methacrylate (Poly methyl methacrylate).

- في حين تمثل الطباعة الحجرية بالأشعة فوق البنفسجية الشديدة (Extreme ultraviolet lithography) إحدى صور الطباعة الحجرية البصرية باستخدام أطوال الموجات فوق القصيرة (والتي تصل إلى 13.5 نانومتر). ومن ثم فهي تعد أكثر اساليب تقانة الجيل الجديد للطباعة الحجرية (next-generation lithography) شيوعاً.

- كما تعد الطباعة الحجرية باستخدام الجسيمات المشحونة (Charged-particle lithography)، ومنها مثلاً الطباعة الحجرية بقذف الأيون أو الإلكترون ion- or electron-projection lithography) (PREVAIL, SCALPEL,)

LEEPL)، إنتاج زخارفٍ ذات درجة صفاءٍ ودقةٍ عاليةٍ جداً. حيث تستخدم تقنية الطباعة الحجرية بأشعة الأيون (Ion beam lithography) الأشعة المركزة أو العريضة للأيونات النشطة خفيفة الوزن (ومنها He^+) بهدف نقل الرسم إلى السطح. كما يمكن أن ينتقل استخدام الطباعة الحجرية باستخدام تقريب أشعة الأيون (Ion Beam Proximity Lithography) على المستوى النانوي على الأسطح الغير مستوية.

- في حين تستخدم لطباعة الحجرية باستخدام الجسيمات المحايدة (Neutral Particle Lithography) شعاعاً عريضاً من الجسيمات المحايدة النشطة بهدف نقل الزخرفة أو الرسم على السطح.

- هذا وتعد الطباعة الحجرية بالبصمة النانوية (Nanoimprint lithography) وتنوعاتها المختلفة ومنها Imprint Lithography Step-and-Flash، LISA، وLADI من تطبيقات تقنية الطباعة الحجرية النانوية الواعدة في مجال الزخرفة. كما يمكن وصل هذا الأسلوب مع تقنية الطباعة الحجرية بالاحتكاك (contact printing).

- إلا أن الطباعة الحجرية باستخدام المسبار الماسح (Scanning probe lithography) تعد أيضاً تقانةً واعدةً في مجال الزخرفة على المستوى النانوي العميق. وعلى سبيل المثال، يمكن التلاعب بالذرات الفردية من خلال استخدام مجهار المسح النفقي (scanning tunneling microscope). مع ملاحظة أن الطباعة الحجرية بانغماس القلم (Dip-Pen Nanolithography) تعد أول تطبيقاً تجارياً متاحاً لتقنية الطباعة الحجرية باستخدام المسبار الماسح القائمة على مجهر القوة الذرية (atomic force microscopy).

- تمثل الطباعة الحجرية النانوية باستخدام مجهر القوة الذرية (Atomic Force Microscopic Nanolithography) تقنية زخرفة السطح الكيمياميكانيكية والتي تستخدم مجهر القوة الذرية (atomic force microscopy).

- تقوم الطباعة الحجرية المغناطيسية (Magnetolithography) على وضع حقل مغناطيسي على الركيزة باستخدام أقنعة أو أغطية معدنية متوازية المغناطيسية يطلق عليها "قناع أو غطاء مغناطيسي". حيث يحدد القناع المغناطيسي والذي يعد مثيلاً أو نظيراً للقناع الضوئي التوزيع المكاني وشكل المجال المغناطيسي الذي تم وضعه على الركيزة. في حين يمثل المكون الثاني جسيمات (حديدية ممغنطة) نانوية عالية الإنفاذية (نظير للمقاوم الضوئي) والتي يتم تجميعها على سطح الركيزة وفقاً للمجال الناجم عن القناع أو الغطاء المغناطيسي.

طريقة "من أسفل إلى أعلى"

- تستخدم الطباعة الحجرية باستخدام الكرة النانوية (Nanosphere lithography) كرات الطبقات الأحادية ذاتية التجميع (self-assembled monolayers) (والتي غالباً ما تكون مصنعة من البوليسترين) كأقنعة التبخر. وقد استخدمت تلك الطريقة لتصنيع مصفوفات نقاط الذهب النانوية ذات الفراغات المضبوطة بدقة.

ومن المحتمل أن تسود طرق التجميع الذاتي الجزيئي (-molecular self assembly) كتقنية الطباعة الحجرية النانوية الأولية، وذلك بسبب التعقيد المتزايد باستمرار للطرق "من أعلى إلى أسفل" المسجلة بالأعلى. وهنا تم تطبيق استخدام التجميع الذاتي لخطوط الكثافة الأقل من 20 نانومتر عرضاً في ثقوب أو الخنادق الضخمة المزخرفة مسبقاً. إلا أن درجة البعد وضبط التأصيل بالإضافة إلى منع

انبعاث الحرائق (lamella merging) ما زالت في حاجةٍ إلى أن يتم دراستها لتصبح أسلوب زخرفةٍ فعال. كما أن القضية الهامة والمرتبطة بحدة حافة الخط تم التركيز عليها أيضاً من قِبَل هذا الأسلوب.

هذا وتعد نماذج التموج ذاتية التموج ومصفوفات النقاط المشكلة من تشتت الشعاع الأيوني منخفض الطاقة صورةً أخرى للطباعة الحجرية النانوية بطريقة من أعلى إلى أسفل. ويتم إيداع الأسلاك البلازمونية plasmonic والممغنطة بالإضافة إلى الجسيمات النانوية على تلك النمذج عبر استخدام التبخر المنحرف.

روبوتات النانو

روبوتات النانو Nanorobotics هي تكنولوجيا لصنع الآلات أو الروبوتات أو ما شابه وبمقياس نانومتري(10–9 متر). وبشكل أكثر تحديدا ،روبوتات النانو تشير إلى حد كبير إلى تقنية لا تزال افتراضية لهندسة النانو في تصميم وبناء روبوتات النانو والأجهزة التي تتراوح في حجمها من 0.1–10 ميكرومتر وتشيد من المكونات الجزيئية أو الجزيئة نفسها كالدنا.إلا أنها لا تزال فكرةافتراضية. إن مصطلحات إنجليزية مثل النانو بوت nanobots أو النانويد nanoids أو النانايت nanites أو أجهزة النانو nanomachines أو النانو مايت nanomites أصبحت متداولة أيضا لوصف هذه الأجهزة حاليا تحت قيد البحث والتطوير.

إن أجهزة النانو لا زالت إلى حد كبير في مرحلة البحث والتطوير. إلا أن بعض الأجهزة الجزيئية البسيطة قد خضعت للاختبار. مثال على ذلك حساس بمفتاح تحكم يقدمه بمسافة 1.5 نانو متر تقريبا، قادر على فرز جزيئات محددة في

عينة كيميائية. إن أولى الاستخدامات الفعالة للآلات النانو يبدو أنها ستكون في التقنية الطبية، والتي يمكن أن تستخدم لتحديد أو إتلاف الخلايا السرطانية. تطبيق آخر محتمل هو الكشف عن المواد الكيميائية السامة وقياس كثافتها في البيئة. وقد أظهرت جامعة رايس مؤخرا نانو كار أو السيارة النانو nanocar – (جزيء أحادي السيارة) مطور بواسطة عملية كيميائية تتضمن كرات الباكي buckyballs كعجلات. وتُشغَّل عن طريق التحكم في درجة حرارة البيئة المحيطة وبواسطة توجيه رأس مجهر مسح نفقي.

وبتعبير آخر فروبوت النانو هو الروبوت أو الأداة التي تسمح بالتفاعلات مع الكائنات الدقيقة النانومترية القياس، أو يمكنها التعامل مع الجزيئات النانومترية القياس. وبعد هذا التعريف يمكن حتى اعتبار جهاز كبير مثل مجهر القوة الذرية كربوت نانوي عندما يقوم بعمليات على مستوى النانومتر. وبصورة عامة يمنك اعتبار اي روبوت يتحم بالنانومتر كروبت نانو. وبصورة عامة تعد هذه التقنية إلى حد كبير في مرحلة البحث والتطوير ولكن تم اختبار بعض الآلات البدائية الجزيئية. ومثال على ذلك جهاز استشعار وجود بمقياس يقرب من 1.5 نانومتر، وهو قادر على فرز جزيئات محددة في عينة الكيميائية. ومن أحد ألتطبيقات المفيدة من هذه التقنية، إذا كان من الممكن بناؤها، استخدامها في التكنولوجيا الطبية، والتي قد تستخدم لتحديد وتدمير الخلايا السرطانية. تطبيق آخر محتمل هو الكشف عن المواد الكيميائية السامة، وقياس تركيزها، في البيئة. ومؤخرا، كشفت جامعة رايس سيارة الجزيء المفرد المتقدمة من خلال عملية كيميائية واستخدمت في ذلك كرة بوكي للعجلات. يتم دفعتها أو تحريكها عن طريق التحكم في درجة الحرارة المحيطة وبواسطة طرف مجس مجهر مسح نفقي.

نظرية روبوتات النانو

يتمسك بعض أنصار روبوتات النانو، كرد على سيناريوهات غراي غو المخيفة بأنهم ساعدوا مبكرا للترويج، باعتبار أن روبوتات النانو قادرة على الاستنساخ خارج بيئة المصنع المقيدة والتي لا تشكل جزءاً ضروريا من تكنولوجيا النانو المنتجة المزعومة، وبأن عملية الاستنساخ الذاتي، إن كانت سوف تتطور، فيمكن جعلها آمنة بطبيعتها.

إن أكثر مناقشة تفصيلية نظرية لروبوتات النانو، بما في ذلك مسائل معينة متعلقة بالتصميم مثل الاستشعار عن بعد، وقوة الاتصالات، والملاحة، والمعالجة، والتنقل، والتحسيب على اللوحة، تم تقديمها في المحتوى الطبي لطب النانو بواسطة روبرت فريتس Robert Freitas. إلا أن بعض هذه المناقشات لا تزال في مستوى العموميات ولا تقترب من مستوى الهندسة التفصيلية.

الرقاقة الحيوية

إن الاستعمال المشترك لـ الإلكترونيات النانوية والطباعة بصفائح معدة فوتوغرافياً photolithography والمواد البيولوجية الحديثة تقدم منهجية محتملة لتصنيع روبوتات النانو للتطبيقات الطبية،، مثل الأجهزة الجراحية وأجهزة تشخيص وتوصيل الدواء. إن هذه الطريقة للتصنيع في قياسات الإلكترونيات النانوية يستعمل حاليا في صناعة الإلكترونيات. إذن، روبوتات النانو العملية يفترض أن تكون متكاملة كأجهزة الإلكترونيات النانوية، والتي سوف تسمح بالعمليات عن بعد وبإمكانيات متقدمة للمعدات الطبية.

روبوتات الحمض النووي Nubots

روبوتـات الحمـض النـووي، النوبـوت Nubots، وهـو مصـطلح مختصـر لـ"روبوتات الحمض النووي robots nucleic acid". وهي عبارة عـن روبوتـات اصطناعية ذات قياسات نانوية. وقد ضمّن ممثلو روبوتات الحمض النووي عـدة أجهزة سيّارة مكونة من الحـامض النـووي والمقدمـة مـن قبـل مجموعـة نادريـان سيمن Nadrian Seeman's group بجامعة نيويورك، مجموعة نايلز بـيرس Niles Pierce's group في معهـد كاليفورنـا للتكنولوجيـا Caltech، ومجموعـة جـون ريفJohn Reif's group في جامعة ديوك University Duke، ومجموعة تشنغده مـاو Chengde Mao's group في بـوردو Purdue، وأخـيرا مجموعـة آنـدرو تربرفيلد Andrew Turberfield بجامعة أكسفورد.

مجمع النانو الموقعي

تعاونية مصنع النانو التي أسسها روبرت فريتـاس ورالـف ميركـل في عـام 2000 بمشاركة 23 باحثا من 10 منظمات و4 بلدان، تركـز علـى تطـوير أجنـدة العملية البحثية، تستهدف على وجه التحديد تطوير أجندة بحثيـة عمليـة تهـدف خصوصا للتركيب الكيميائي للماسة التي يمكن التحكم بموقعها وتطـوير مصـنع النانو الماسي.

الأساس البكتيري

إن هذا المنهج يفترض اسعمال الكائنات الدقيقة البيولوجية، مثـل بكتيريـا "الإشريكية القولونية". بالتالي النموذج يستخدم السوط لأغراض الـدفع. وتطبـق عادة استخدام الحقول الكهرومغناطيسية للسيطرة على حركة من هذا النوع مـن الأجهزة المتكاملة البيولوجية، ولكنها محدودة التطبيقات.

التكنولوجيا المفتوحة

قُدمت وثيقة مع اقتراح بشأن التنمية في مجال تقنية النانو الحيوية باستخدام منهج التكنولوجيا المفتوحة يخاطب الجمعية العامة للأمم المتحدة.. ووفقا للوثيقة التي تم إرسالها إلى الأمم المتحدة وبنفس الطريقة التي تسارع فيها المصدر المفتوح في تطويرنظم الحاسب، فإن نهجا مماثلا يجب أن يفيد المجتمع في تسارع تنمية روبوتات النانو الهائل. إن استخدام علم الأحياء النووي يجب أن يُنشأ كتراث إنساني للأجيال القادمة، وأن يطور كتكنولوجيا مفتوحة قائمة على أساس أخلاقي الممارسة من أجل أغراض السلام. إن منهجية التكولوجيا المفتوحة جاءت كمفتاح أساسي لهدف من هذا القبيل.

سباق روبوتات النانو

بنفس الطريقة التي تبنت فيها التقنية المتطورة سباق الفضاء وسباق التسلح النووي، يحدث أيضا سباق روبوتات النانو. إن هناك الكثير من الأساس المشترك الذي يسمح لروبوتات النانو أن تكون ضمن التكنولوجيات الناشئة. وبعض أسبابها هي أن الشركات الكبيرة، مثل جنرال إلكتريك General Electric، وهوليت- باكارد Hewlett-Packard ونورثروب جرومان Northrop Grumman كانوا يعملون في الآونة الأخيرة في البحث والتطوير لروبوتات النانو. إن الجراحين أيضا مشاركون في البدء باقتراح سبل لتطبيق روبوتات النانو في الإجراءات الطبية المشتركة. كما أن الجامعات ومعاهد البحوث منحت الأموال من جانب الوكالات الحكومية والتي تجاوزت ملياري دولار من أجل تطوير الأجهزة النانوية للطب. والمصرفيون أيضا يستثمرون باستراتيجية لهدف الحصول مسبقا على الحقوق والرسوم لتسويق الروبوتات في المستقبل. وإن

بعض جوانب روبوتات النانو ارتبطت بدعاوى ذات صلة بالاحتكار. وقد تم منح عدد كبير من براءات الاختراع مؤخرا على روبوتات النانو، وقد نفذت غالبا لوكلاء البراءات، والشركات المتخصصة على بناء محفظة براءات الاختراع، والمحامين. بعد سلسلة طويلة من براءات الاختراع والتقاضي في نهاية المطاف. انظر كمثال لاختراع الراديو أو عن حرب التيارات، إن مجالات التكنولوجيا الناشئة تميل إلى أن تصبح احتكاراً، والتي عادة ما تهيمن من قبل الشركات الكبيرة.

التطبيقات الممكنة

طب النانو

من ضمن التطبيقات المحتملة لروبوتات النانو في الطب هو التشخيص المبكر وتوصيل الدواء المستهدف لمرض السرطان، وأجهزة الطب الحيوي، الجراحة، الحركيات الدوائية، رصد السكري، والرعاية الصحية.

يتوقع لمستقبل طب النانو في الخطط القادمة أن يوظف روبوتات النانو لحقن جسم المريض ليقوم بأداء العمل على المستوى الخلوي. وينبغي لمثل هذه الأجهزة المعدة للاستخدام الطبي أن تكون غير قابلة للاستنساخ الذي من شأنه أن يزيد تعقيد الجهاز دون داع، والحد من موثوقيته وبالتالي تعارضه مع الرسالة الطبية.

وينبغي أن مثل هذه الأجهزة المعدة للاستخدام في الطب غير قابلة للتكرار، والتكرار من شأنه أن يزيد تعقيد الجهاز دون داع، والحد من الموثوقية، وتتداخل مع البعثة الطبية.

الفصل الثالث

الطرق المختلفة في تحضير المركبات النانوية



الفصل الثالث
الطرق المختلفة في تحضير المركبات النانوية

تصنيع نانوي

فن التصغير في صنع الأشياء

يعمل الباحثون على اكتشاف أساليب رخيصة وفعالة لصنع بنى لا تتجاوز أبعاد الواحدة منها بضعة أجزاء من بليون من المتر. أمر غيّر العالم. إن تطور الإلكترونيات الميكروية الصغرية microelectronics- الترانزستورات أولا ومن ثم تجميع الترانزستورات في معالجات ميكروية صغرية microprocessors ، وشيبات ذاكرات memory chips، ومتحكمات controllers- أحدث وفرة من الآلات التي تعالج المعلومات عن طريق سريان الإلكترونات في السيليكون. وتعتمد الإلكترونيات الميكروية على تقنيات تصنع بشكل روتيني بنى structures يضاهي صغرها 100 نانومتر (أي جزء من بليون من المتر). إن هذا الحجم صغير جدا بمعايير الخبرات اليومية- نحو واحد في الألف من عرض شعرة إنسان- لكنه يعد كبيرا بمقياس الذرات والجزيئات، إذ إن قطر سلك عرضه 100 نانومتر يمتد فوق نحو 500 ذرة من السيليكون.

إن فكرة صنع بُنى نانوية nanostructures تتكون من ذرة واحدة أو من ذرات قليلة، فكرة جذابة جدا كتحد علمي ولأسباب عملية على حد سواء. تمثل بنية بحجم الذرة حدا أساسيا: فصنع أي شيء أصغر قد يتطلب منابلة أنوية ذرية- وهذا من حيث الجوهر تحويل عنصر كيميائي إلى آخر. وفي السنوات

الأخيرة، عرف العلماء تقنيات مختلفة لصنع بنى نانوية، لكنهم بدؤوا مؤخرا بالتحري عن صفاتها وتطبيقاتها الممكنة. لقد حلّ عصر الصناعة النانوية، وبزغ فجر عصر العلم النانوي nanoscience، لكن عصر التقانة النانوية- أي إيجاد استخدامات عملية للبنى النانوية- لم يبدأ بعد في واقع الأمر.

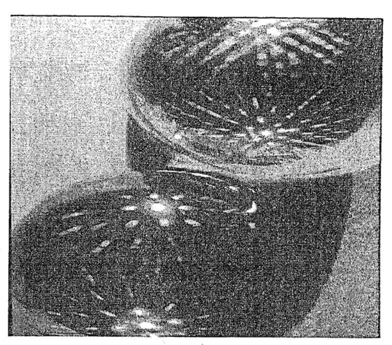
النهج المعهود

قد يقوم الباحثون بتطوير بنى نانوية كمركبات إلكترونية، غير أن التطبيق الأكثر أهمية قد يكون مختلفا جدا؛ فعلى سبيل المثال، قد يستخدم علماء البيولوجيا أجزاء نانوية كمجسات صغيرة جدا للتحري عن الخلايا. ولأن العلماء لا يعرفون أي نوع من البنى النانوية سيحتاجون إليها في نهاية المطاف، فإنهم لم يحددوا حتى الآن الطرائق الأفضل لإعدادها. فالليثوغرافيا الضوئية photolithography، وهي التقانة المستخدمة لصنع الشيبات الحاسوبية وافتراضيا معظم نظم الإلكترونيات الميكروية الأخرى، يمكن أن تصقل من أجل صنع بنى أصغر من 100 نانومتر، لكن القيام بذلك أمر في غاية الصعوبة فضلا عن أنه مكلف وغير مُيسر. وفي سعيهم لإيجاد بدائل أفضل، اعتمد باحثو الصناعات النانوية فلسفة (دع ألف زهرة تتفتح).

في بداية الأمر، لنتعرف محاسن الليثوغرافيا الضوئية ومساوئها. يستخدم الصانعون هذه التقانة لإنتاج ثلاثة بلايين ترانزستور في الثانية الواحدة في الولايات المتحدة وحدها. وتعد الليثوغرافيا الضوئية بشكل أساسي امتدادا للتصوير الضوئي. يقوم المرء أولا بصنع ما يكافئ صورة ليثوغرافية سلبية تحتوي على النموذج اللازم لجزء من دارة شيبة ميكروية. بعد ذلك تُستخدم هذه الصورة السلبية التي تسمى القناع mask أو النسخة الرئيسية master في نسخ

النموذج في معادن وأشباه موصلات شبية ميكروية. وكما هي الحال في التصوير الضوئي، قد يكون من الصعب عمل الصورة السلبية، غير أن عمل نسخ متعددة أمر سهل لأنه يمكن استخدام القناع مرات عدة. لذا، تنفصل العملية إلى مرحلتين: تحضير القناع (حدث يقع مرة واحدة ويمكن أن يكون بطيئا ومكلفا)، واستخدام القناع في عمل نسخ مطابقة (ويجب أن يكون ذلك سريعا وغير مكلف).

ولصنع قناع لجزء من شيبة حاسوبية، يقوم المصنع أولا بتصميم نموذج دارة بمقياس كبير ملائم ويحوّله إلى نموذج لفيلم معدني غير منفِذ (عادة من الكروميوم) على صفيحة شفافة (عادة من الزجاج أو السيليكا). وبعد ذلك تقوم الليثوغرافيا الضوئية بتخفيض قياس النموذج في عملية شبيهة بتلك المستخدمة في غرف التصوير الضوئي المظلمة. وينبعث شعاع ضوئي يكون عادة من الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من مصباح قوسي زئبقي mercury arc lampمن خلال القناع المصنوع من الكروم، ويمر بعد ذلك من خلال عدسة تبئر focusالصورة في طبقة مطلية حساسة للضوء مصنوعة من البوليمر العضوي يسمى مقاوم الضوء photoresist على سطح رقاقة wafer سيليكونية بطريقة تكرر نَسْخ النموذج الأصلي.



شكل (35) الليثوغرافيا الضوئية

أنماط انعراج متعقدة تكونت بوساطة حلقات عرضها نـانوي القيـاس (لا ترى لشدة صغرها) على سطح أنصاف كرات من البوليمر الصافي تمتد سـنتيمترا واحدا. وقد قام طالب دراسات عليا لأحد مؤلفي هذه المقالة بتكييـف الحلقـات في طبقة رقيقة من الذهب علـى أنصـاف الكـرات وذلـك بتقنيـة تصـنيع نـانوي تسمى ليثوغرافيا لينة.

لماذا لا تستخدم الليثوغرافيا الضوئية في عمـل بنـى نانويـة؟ تواجـه هـذه التقانـة عقبـتين؛ الأولى هـي أن أصـغر طـول مـوجي للضـوء فـوق البنفسـجي المستخدم في السيرورات الإنتاجية هو نحو 250 نانومترا. ومحاولة عمل بنى أصغر من نصف هذا الحجم هي كمحاولة قراءة حـروف مطبوعـة متناهيـة في الصـغر؛ فانعطاف الضوء الحيود diffraction يطمس معالم هذه الحروف ويمزج بعضها في بعض. وقد مكنت تحسينات تقنية مختلفة مـن دفـع حـدود الليثوغرافيـا. فأصـغر

البنى التي عُملت في إنتاج بالجملة هي أكبر بعض الشيء من 100 نـانومتر، وقـد عُملت بنى إلكترونية ميكروية معقدة بسمات بُعْدها لا يتجاوز 70 نانومترا. غـير أن صِغر هذه البنى مازال غير كافٍ لاكتشاف بعض أكثر النواحي إثارة للاهتمام في العلم النانوي.

والعقبة الثانية، تتبع الأولى، إذ إنه من الصعب تقنيا عمل مثل هـذه البنـى الصغيرة باستخدام الضوء، كما أنـه أمـر مكلـف جـدا. فـالأدوات الليثوغرافيـة الضوئية التي ستستخدم في صنع شيبات بسـمات أقـل بكـثير مـن 100 نـانومتر ستكلف كل منها عشرات إلى مئات الملايين من الدولارات. وهـذه التكلفـة قـد تجد، أو لا تجد، قبولا لدى الصانعين، لكنها تقف في وجه استخدام هـذه التقانـة من قبل علماء البيولوجيا وعلماء المواد والكيميائيين والفيزيائيين الـذين يـودون تقصي العلم النانوي باستخدام بنى من تصميمهم.

الشيبات النانوية المستقبلية

تبدي الصـناعة الإلكترونيـة اهتمامـا عميقـا في تطـوير طرائـق جديـدة في الصناعة النانوية كي تستطيع أن تمضي في منحاها الطويل الأمد نحو صنع أجهـزة أصغر وأسرع وأقل تكلفة. وسيكون تطورا طبيعيـا للإلكترونيـات الميكرويـة أن تصبح إلكترونيات نانوية؛ لكن لما كانت الليثوغرافيا الضوئية المعهودة تغدو أكثر صعوبة حين تصبح أبعاد البنى صغيرة، فـإن الصـانعين يتقصـون تقانـات بديلـة لصنع الشيبات النانوية المستقبلية.

وتعد ليثوغرافيـا الحـزم الإلكترونيـة electron-beam lithography أحـد المنافسين الرئيسيين. في هـذه الطريقـة تكتـب نمـاذج الـدارات علـى فـيلم رقيـق مصنوع من البوليمر بواسطة حزمة من الإلكترونات. إن حزمـة الإلكترونـات لا

تحيد في المقياس الذري، لذا فهي لا تسبب طمس حافات المعالم. وقد استخدم الباحثون هذه التقنية في كتابة سطور عرضها نانومترات قليلة في طبقة من مقاوم الضوء على طبقة تحتية من السيليكون. غير أن أدوات الحزم الإلكترونية المتوافرة حاليا باهظة التكاليف وغير عملية للتصنيع على نطاق واسع. وبسبب الحاجة إلى حزم إلكترونات لصنع كل بنية، فإن هذه العملية شبيهة بعملية نسخ مخطوطة باليد، كل سطر على حدة.

إذا لم تكن الإلكترونات هي الجواب، فما هو؟ منافس آخر هو الليثوغرافيا باستخدام الأشعة السينية (أشعة إكس) بأطوال موجية تتراوح بين 0.1 و10 نانومترات، أو ضوء فوق بنفسجي أقصى بأطوال موجية تتراوح بين 10 و70 نانومترا. ولأن لهذه الأشكال من الإشعاعات أطوالا موجية أقصر من الأطوال الموجية للضوء فوق البنفسجي المستخدم في الليثوغرافيا الضوئية، فهي تقلل من الطمس الذي يسببه انعطاف الضوء إلى الحد الأدنى؛ غير أن هذه التقانات تواجه مجموعة خاصة بها من المصاعب: العدسات التقليدية غير شفافة للضوء فوق البنفسجي المتطرف ولا تُبئر الأشعة السينية. كذلك فإن الأشعة النشطة تُلحق الضرر بسرعة بالعديد من المواد المستخدمة في الأقنعة والعدسات. لكن الصناعة الإلكترونية الميكروية تفضل بوضوح صنع شيبات متطورة باستخدام امتدادات لتقانة مألوفة، لذا فإن هذه الطرائق تخضع حاليا للتطوير بشكل فعال. ومن المحتمل أن تصبح بعض التقنيات (على سبيل المثال، تقنية الليثوغرافيا فوق البنفسجية المتقدمة لإنتاج الشيبات) حقيقة تجارية؛ لكنها لن تعمل بنىً نانوية غير مكلفة ولن تسهم بالتالي في توفير تقانة نانوية لمجموعة أكبر من العلماء والمهندسين.

نظرة إجمالية إلى إنتاج بنى نانوية

سيعتمد تطور التقانة النانوية على قدرة الباحثين على أن يصنعوا بفاعلية بنى أبعادها أصغر من 100 نانومتر (100 جزء من بليون جزء من المتر).

يمكن تعديل الليثوغرافيا الضوئية، وهي التقانة المستخدمة حاليا في صناعة الدارات في الشيبات الميكروية، لإنتاج بنى نانوية المقياس، لكن هذه التعديلات ستكون صعبة من الناحية التقنية وباهظة التكاليف.

يمكن تقسيم طرائق الإنتاج النانوي إلى قسمين: طرائق نزولية، تنقش أو تضيف جملة من الجزيئات لسطح ما، وطرائق صعودية تجمع الذرات أو الجزيئات في بُنى نانوية.

ثمة مثالين على طريقتين نزوليتين واعدتين هما الليثوغرافيا اللينة وليثوغرافيا غطس الريشة. يستخدم الباحثون الطرائق الصعودية في إنتاج نقاط كمومية يمكن أن تُستخدم كأصبغة بيولوجية.

لقد حفزت الحاجة إلى طرائق أبسط من أجل عمل بنى نانوية أقل تكلفة البحثَ عن مقاربات غير معهودة لم تستقص في السابق من قبل الصناعة الإلكترونية. لقد بدأ اهتمامنا في هذا الموضوع في مطلع التسعينات حينما كان علينا عمل البنى البسيطة اللازمة في النظم الميكروية السائلة microfluidic systems، وهي شيبات ذات قنوات وحجرات لحفظ السوائل. وقنوات الشيبات الميكروية السائلة microfluidic chips تُعتبر ضخمة بمعايير الإلكترونيات الميكروية: عرضها 50 ميكرونا (أو000 50 نانومتر) عوضا عن 100 نانومتر. غير أن التقنيات المستخدمة في إنتاج هذه القنوات متعددة الاستعمالات. يمكن أن تصنع الشيبات الميكروية السائلة بشكل سريع وغير

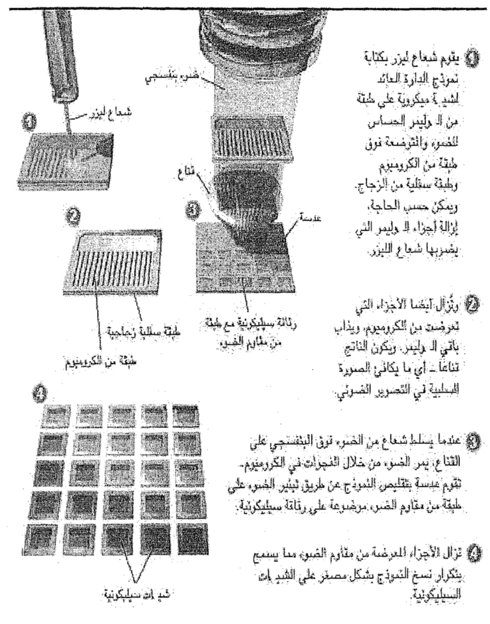
مكلف، والعديد منها يتكون من بوليمرات عضوية ومواد هلامية gels ـ وهي مواد لا توجد في عالم الإلكترونيات. ولقد اكتشفنا أنه باستطاعتنا استخدام تقنيات مشابهة لعمل بنى نانوية.

إلى حد ما شكلت هذه الطرائق خطوة نحو الوراء في التقانة. فعوضا عن استخدام أدوات الفيزياء- الضوء والإلكترونات- استخدمنا عمليات ميكانيكية مألوفة في الحياة اليومية؛ كالطباعة والختم stamping والقولبة molding والنقش البارز. embossing وتدعى هذه التقنيات ليثوغرافيا لينة soft lithography بسبب اشتراكها في كتلة من البوليديميثيل سيلوكسان polydimethylsiloxane PDMS، وهو البوليمر المطاطي المستخدم في سد التسربات حول أحواض الاستحمام. غالبا ما يشير الفيزيائيون إلى مثل هذه المواد الكيميائية العضوية بالمواد اللينة.soft matter

ولتنفيذ الإنتاج باستخدام الليثوغرافيا اللينة، يُصنع أولا قالب أو ختم. والطريقة الأكثر شيوعا هي استخدام الليثوغرافيا الضوئية أو ليثوغرافيا الحزم الإلكترونية لإنتاج نموذج في طبقة من مقاوم الضوء على سطح رقاقة سيليكونية. تولد هذه السيرورة نسخة رئيسية ذات نقش ضئيل النتوء bas-relief master تبرز فيها جزر من مقاوم الضوء من السيليكون [انظر الشكل 36]. بعد ذلك تُصب مادة كيميائية تُشكل الختمPDMS ، وتلك المادة عبارة عن سائل يجري بحرية فوق النسخة الرئيسية، وتحفظ في الجسم الصلب المطاطي. وتكون النتيجة ختما PDMS يطابق تماما النموذج الأصلي بشكل مثير للدهشة: ينتج الختم سمات من النسخة الرئيسية يضاهي صغرها نانومترات قليلة. ولما كان تكوين نسخة رئيسية ذات نقش ضئيل النتوء مكلف لأنه يتطلب ليثوغرافيا الحزم الإلكترونية أو تقنيات أخرى متطورة، فإن نسخ النموذج على أختام PDMS

رخيص وسهل. وبمجرد توافر الختم، يمكن استخدامه في طرق مختلفة غير مكلفة لعمل بنى نانوية.

تسمى الطريقة الأولى- التي طورها أصلا A كومار [طالب دراسات في مرحلة ما بعد الدكتوراه في مجموعة بجامعة هارفارد] طباعة التلامس الميكروي microcontact printing. يُحبّر inked الختم PDMS بمحلول كاشف يتكون من جزيئات عضوية تسمى ثيولات كبريتات thiols انظر الشكل 36. وبعد ذلك يوضع الختم على صفيحة مناسبة من «الورق» - غشاء رقيق من الذهب على صفيحة من الزجاج أو من السيليكون أو من البوليمر. تتفاعل الثيولات مع السطح الذهبي مشكلة غشاء مرتبا ترتيبا عاليا يسمى طبقة أحادية مجمعة ذاتيا self-assembled monolayer SAM يكرر نسخ نموذج الختم. ولما كان حبر الثيول ينتشر بعد ملامسته للسطح بفترة وجيزة، فإن انحلال الطبقة الأحادية لا يمكن أن يكون كبيرا بقدر ذلك الخاص بالختم.PDMS ولكن يمكن لطباعة التلامس الميكروي عند استخدامها على النحو الصحيح أن تنتج نماذج بمعالم يضاهي صغرها 50 نانومترا.



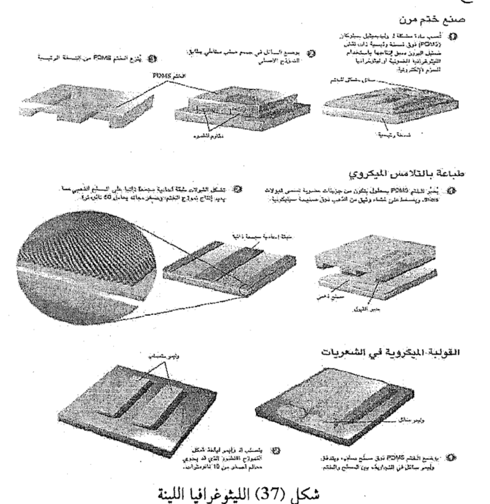
شكل (36) الليثوغرافيا الضوئية المعهودة

وثمة طريقة أخرى من طرائق الليثوغرافيا تسمى القولبة الميكروية في الشعريات capillaries وتتضمن استخدام الختم PDMS في قولبة النماذج.

يوضع الختم على سطح صلب حيث يجري البوليمر السائل بالفعل الشعري بين التجاويف الموجودة بين السطح والختم [انظر الشكل 36 السفلي]. بعد ذلك يتصلب البوليمر مشكلا النموذج المطلوب. وتستطيع هذه التقنية أن تكرر نسخ بنى أصغر من 10 نانومترات. وهي مناسبة جدا لإنتاج أجهزة ضوئية تحت طول موجية subwavelength وموجهات الموجة wave guides ومستقطبات ضوئيةoptical polarizers، حيث يمكن أن تستخدم جميعها في شبكات الألياف الضوئية، وربما في نهاية المطاف في الحواسيب الضوئية. وهناك تطبيقات محتملة أخرى تقع في مجال السوائل النانوية وهي امتداد للسوائل الميكروية، وقد تتضمن إنتاج شيبات لأبحاث الكيمياء الحيوية لا يتجاوز عرضها نانومترات قليلة. عند هذا المقياس، قد يسمح علم تحريك السوائل بإدخال طرق جديدة لفصل مواد مثل أجزاء الدنا DNA.

الليثوغرافيا اللينة

يمكن للطباعة والقولبة ولعمليات ميكانيكية أخرى منفذة باستخدام ختم مرن أن تنتج نماذج ذات معالم بمقياس النانو. وتستطيع مثل هذه التقنيات أن تصنع أجهزة يمكن استخدامها في الاتصالات الضوئية أو أبحاث الكيمياء الحيوية.



شكل (37) الليثوغرافيا اللينة

وهذه الطرائق لا تتطلب معدات خاصة، ويمكن في الواقع حملها باليد في مختبر عادي. فالليثوغرافيا الضوئية المعهودة يجب أن تُجرى في منشأة غرفة-نظيفة خالية من الغبار، فإذا ما حطت قطعة من الغبار على القناع، فستكوّن بقعة

غير مرغوب فيها على النموذج. ونتيجة لذلك، قد يخفق تصنيع الجهاز المطلوب (وفي بعض الأحيان الأجهزة المجاورة له). وتعد الليثوغرافيا اللينة عموما أكثر تسامحا لأن الختم PDMS مرن. وإذا ما علقت قطعة من الغبار ما بين الختم والسطح، ينضغط الختم في أعلى القطعة، ولكنه يحافظ على التلامس مع بقية السطح. وهكذا ينتج النموذج بشكل صحيح باستثناء الموضع الذي علقت عنده المادة الملوثة.

إضافة إلى ذلك، تستطيع الليثوغرافيا اللينة أن تنتج بنى نانوية بطيف واسع من المواد بما في ذلك الجزيئات العضوية المعقدة اللازمة للدراسات الحيوية. وتستطيع التقنية أن تطبع أو تقولب نماذج على أسطح منحنية أو مستوية على حد سواء. لكن هذه التقنية ليست مثالية لصنع المنشآت اللازمة للإلكترونيات النانوية المعقدة. وحاليا تتألف جميع الدارات المتكاملة من طبقات مكدسة من مواد مختلفة. ويمكن أن ينتج من تشوه والتواء الختم PDMS اللين أخطاء صغيرة في النموذج المكرر واختلاف في محاذاة النموذج مع أي نموذج أصلي سبق إنتاجه. ويمكن لأدق التشوهات أو عدم المحاذاة أن تدمر جهازا نانومتريا متعدد الطبقات. لذا، لا تعد الليثوغرافيا اللينة مناسبة لإنتاج بنى ذات طبقات متعددة يجب أن تتكدس بدقة بعضها فوق بعض.

لا تتطلب هذه الطرائق تجهيزات خاصة، وفي واقع الأمر، يمكن تنفيذها يدويا في مختبر عادي. غير أن الباحثين وجدوا طرائق لتصحيح هذا القصور- جزئيا على الأقل- وذلك باستعمال ختم صلد عوضا عن الختم المرن. وفي تقنية تسمى ليثوغرافيا طبع وميض- و- خطوة (1) المطورة من قبل G.C. ويلسون [من جامعة تكساس] تُستخدم الليثوغرافيا الضوئية في حفر نموذج في صفيحة من الكوارتز مما يعطي نسخة رئيسية ذات نقش قليل النتوء. وقد ألغى

<ويلسون> خطوة صنع الختم PDMS من النسخة الرئيسية؛ وعوضا عن ذلك تُضغط النسخة الرئيسية نفسها على غشاء رقيق من البوليمر السائل الذي يملأ تجاويف هذه النسخة. ثم تُعرَّض هذه النسخة الرئيسية إلى ضوء فوق بنفسجي مما يصلب البوليمر ويؤدي إلى تكوين هذه النسخة المكررة المطلوبة. وهناك تقنية أخرى ذات صلة تسمى ليثوغرافيا الطباعة الضوئيةnanoimprint lithography طورها .Y.S شو [من جامعة برنستون]، تستعمل أيضا نسخة رئيسية صلدة لكنها تستخدم غشاء من البوليمر جرى تسخينه مسبقا إلى درجة حرارة قريبة من نقطة انصهاره، وذلك من أجل تسهيل عملية النقش الناتئ. وتستطيع كلتا العمليتين أن تنتجا بدقة جيدة بنى ثنائية البعد؛ لكن من غير المؤكد مدى مناسبة هاتين التقنيتين لتصنيع أجهزة إلكترونية.

دفع الإلكترونات هنا وهناك

بدأت الثورة الحالية في العلم النانوي عام 1981 باختراع مجهر المسح النفقي scanning tunneling microscope STM والذي من أجله مُنِح كل من .H روهرر و.K.G بينيگ [من مختبر أبحاث الشركة IBM في زيوريخ] جائزة نوبل في الفيزياء عام 1986. يستطيع هذا الجهاز الرائع تحري التيارات الكهربائية الصغيرة التي تمر بين حرف المجهر (الميكروسكوب) والعينة التي تجري مشاهدتها، مما يسمح للعلماء «بمشاهدة» مواد بمقياس ذرات منفردة. وقد أدى نجاح المجهر STM إلى تطوير أجهزة مسح مسبري(2) أخرى بما في ذلك مجهر القوة الذرية atomic force microscope AFM. إن مبدأ عمل المجهر AFM يشبه مبدأ عمل الحاكي الفونوگراف phonograph القديم. يوضع مسبار دقيق- ذو رأس ليفي أو هرمي يتراوح عرضه عادة بين 2 و30 نانومترا- بحيث يُلامس

العينة مباشرة. يُربط المسبار بنهاية ظفر ينعطف مع تحرك الرأس عبر سطح العينة. ويقاس الانحراف عن طريق عكس حزمة ضوء ليزري من قمة الظفر. ويستطيع الجهر AFM تقصي تغيرات في طبوغرافيا السطح الشاقولي أصغر من أبعاد المسبار.

غير أن أجهزة المسح المسبري تستطيع فعل أكثر من مجرد السماح للعلماء بمراقبة عالم الذرة، إذ يمكن استخدامها أيضا في إنتاج بنى نانوية، كما يمكن أن يستخدم الرأس في الجهر AFM في تحريك الأجزاء النانوية فيزيائيا هنا وهناك على سطوح معينة وترتيبها في نماذج، إضافة إلى ذلك، يمكن استخدامها لعمل خدوش في سطح ما (أو بشكل أعم في أغشية أحادية الطبقة من الإلكترونات أو الجزيئات التي تطلي السطح). وبالمثل، إذا ما زاد الباحثون من التيارات الجارية من رأس الجهر STM، يصبح هذا الجهر مصدرا صغيرا جدا للحزم الإلكترونية التي يمكن استخدامها في كتابة نماذج بمقياس النانو. ويستطيع رأس الجهر STM دفع ذرات بمفردها هنا وهناك على سطح ما بغرض بناء حلقات وأسلاك عرضها ذرة واحدة فقط.

وثمة طريقة تأسر الاهتمام في صنع مسابير المسح تسمى ليثوغرافيا غطس الريشة ريشة الكتابة .dip-pen lithography تعمل هذه التقنية، التي طورها A.C. ميركن [من جامعة نورث ويسترن] بشكل يشبه إلى حد كبير ريشة كتابة من ريش الإوز [انظر الشكل 38]. يطلى رأس الجهر AFM بغشاء رقيق من جزيئات الكبريت التي لا تنحل في الماء لكنها تتفاعل مع سطح ذهبي (نفس الكيمياء المستخدمة في طباعة التلامس الميكروي). وعندما يوضع الجهاز في مكان يحتوي على تركيز كبير من بخار الماء تتكثف قطرة دقيقة جدا بين السطح الذهبي ورأس الجهر. ويجذب التوتر السطحي الرأس إلى مسافة محددة من

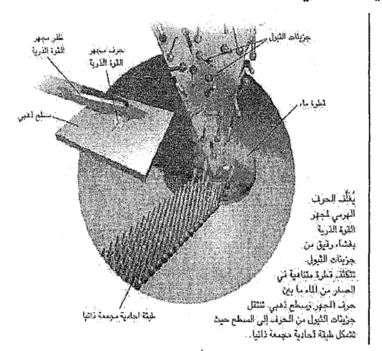
الذهب، وهذه المسافة لا تتغير مع تحرك الرأس عبر السطح. وتكـون قطـرة المـاء بمثابة جسر تستطيع جزيئات الكبريت أن تهـاجر عـبره مـن الـرأس إلى السـطح الذهبي حيث تثبت. وقد استخدم الباحثون هذا الإجراء في كتابة سطور أبعادهـا نانومترات قليلة.

ومع أن ليثوغرافيا غطس الريشة بطيئـة نسـبيا، لكنهـا تسـتطيع اسـتخدام أصناف عديدة مختلفة «كحـبر» وتعطـي بـذلك مرونـة كيميائيـة عظيمـة للكتابـة بمقياس النانو. لم يحدد العلماء بعد أفضل تطبيق لهذه التقنية، لكن إحدى الأفكار المطروحة هي استخدام طريقة غطـس الريشـة في إجـراء تعـديلات دقيقـة علـى تصميم الدارات. وقد برهن ميركـن مـؤخرا علـى أن أنواعـا مختلفـة مـن الحـبر المستخدم في ليثوغرافيا غطس الريشة يمكن أن تكتب مباشرة على السيليكون.

وثمة قريب مثير للاهتمام لهذه التقنيـات يتضـمن صـنفا آخـر مـن البنـى النانوية يسمى قطع المَوْصِل .break junction إذا ما قطعت سلكا معدنيا مطاوعا رفيعا إلى جزأين عن طريق السحب بعنف، تبدو العملية مفاجئة لمراقب بشـري، لكنها تتبع في الواقع تسلسلا معقدا. عند تطبيق القوة المستخدمة في قطع السلك، يبدأ المعدن بالمطاوعة والسيلان ويتناقص قطر السلك. ومع ابتعاد نهايتي السـلك إحداهما عن الأخرى، يتناقص باستمرار قطر السلك حتى لحظة قبيـل انقطاعـه مباشرة حيث يصبح قطره ذرة واحدة فقـط في أضـيق مقطـع لـه. ويمكـن تحـري عملية ترفيع سلك ما حتى نقطة قطع الموصل بسهولة عـن طريـق قيـاس التيـار الجاري في السلك. عندما يكون السلك رفيعا بشكل كاف، يمكن للتيار أن يجري فقط بكميات منفصلة أي إن جريان التيار مكمّى quantized يشبه قطع الموصـل رأسي مجهرين STM يقابل أحدهما الآخر، وتتحكم قواعـد فيزيائيـة مشـابهة في التيارات الجارية من خلاله. وقد ابتدع .A.M ريد [من جامعـة ييـل] اسـتخداما

خلاقا لقطع الموصل. فقد بنى جهازا سمح فيه لموصل دقيق أن ينقطع تحت ظروف مضبوطة بعناية فائقة، وسمح بعد ذلك للحرفين المقطوعين بأن يُجمعا معا أو أن يُفصلا بأي مسافة بدقة تبلغ عدة أجزاء من الألف من النانومتر، وبتعديل المسافة بين الحرفين بوجود جزيء عضوي يجسر المسافة بينهما، استطاع ريد قياس تيار يجري عبر الجسر العضوي. وقد عدت هذه التجربة خطوة مهمة في تطوير تقانات لاستخدام جزيئات عضوية منفردة كأجهزة كهربائية مثل الصمامات والترانزستورات.

ليثوغرافيا غطس الريشة



شكل (38) ليثوغرافيا غطس الريشة

طرائق نزولية وطرائق صعودية

يطلق على جميع طرائق الليثوغرافيا التي ناقشناها حتى الآن اسم طرائق

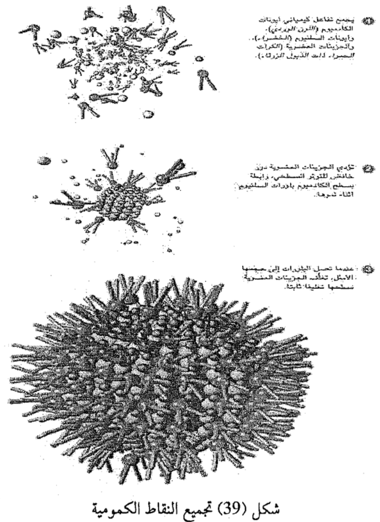
نزولية (فوق- تحت)، أي إنها تبدأ بنموذج جرى توليده على مقياس واسع ثم تُخفض أبعاده الجانبية (غالبا بمعامل يساوي 10) قبل نقش بنى نانوية. وتلزم هذه الاستراتيجية في تصنيع أجهزة إلكترونية كالشيبات الميكروية التي تعتمد وظيفتها على نماذجها أكثر من اعتمادها على أبعادها. لكن ليس ثمة طريقة نزولية مثالية؛ فلا تتوافر طريقة نزولية تستطيع إنتاج بنى نانوية من أية مادة وبشكل ملائم ورخيص وسريع. لذا أبدى الباحثون اهتماما متزايدا بالطرائق الصعودية (تحت- فوق) التي تبدأ بالذرات أو الجزيئات وتدريجيا تتولد بنى نانوية. وهذه الطرائق تستطيع بسهولة إنتاج أصغر البنى النانوية- بأبعاد تتراوح بين 2 و10 نانومترات- وبشكل غير مكلف. لكن هذه البنى تُولّد عادة كجزيئات منفردة معلقة أو على سطوح، أكثر من توليدها كنماذج مصممة ومترابطة فيما بينها.

وتعد الطريقتان المستخدمتان في صنع الأنابيب النانوية والنقاط الكمومية quantum dots من أبرز الطرائق الصعودية. فقد صنع العلماء أنابيب طويلة أسطوانية من الكربون بعملية نمو حفازة تستعمل قطرة بمقياس النانو من معدن منصهر (عادة من الحديد) كمادة حفازة [انظر: «استخدام الأنابيب النانوية في صناعة الإلكترونيات»،مجلة العلوم، العددان 6/ 7 (2001)، ص 30]. وقد نشأت أكثر مجالات البحث فعالية في النقاط الكمومية في مختبر .E.L بريس (وبعدها في مختبرات بل (Bell وطورت من قبل .P.A أليڤيساتوس [من جامعة كاليفورنيا في بركلي] و.G.M باوندي [من معهد ماساتشوستس للتقانة] وغيرهما. إن النقاط الكمومية هي عبارة عن بلورات تحتوي فقط على عدة مئات من الإلكترونات. ولما كانت الإلكترونات في نقطة كمومية تقتصر على مستويات طاقة مفصولة بشكل كبير، فإن النقطة تبث طولا موجيا واحدا من الضوء عندما تحرض. وهذه الخاصية تجعل النقطة الكمومية مفيدة كواسم

بيولوجي] biological marker انظر: «صغير حجمها لكن شأنها عظيم في الطب»، في الصفحة 44.

تجميع النقاط الكمومية

بلورات تسمى نقاطا كمومية تحتوي فقط على عدة مئات من الذرات وتصدر أطوالا موجية مختلفة من الضوء وفقا لحجمها. وقد تغدو هذه النقاط مفيدة كواسمات بيولوجية للنشاط الخلوي.



شكل (39) تجميع النقاط الكمومية

يتضمن أحد الإجراءات المستخدمة في صنع نقاط كمومية تفاعلا كيميائيا ما بين أيون معدني (كادميوم على سبيل المثال) وجزيء قادر على منح أيون السلنيوم selenium ion. يولّد هذا التفاعل بلورات من سيلانيد الكادميوم. وتكمن الحيلة في منع البلورات الصغيرة من الالتصاق معا أثناء نموها إلى الحجم المطلوب. ولعزل الجسيمات النامية بعضها عن بعض، يُجري الباحثون التفاعل بوجود جزيئات عضوية تؤدي دور خافض للتوتر السطحيurfactant3، وتقوم بتغليف سطح كل جسيم من سيلانيد الكادميوم أثناء نموه. وتمنع الجزيئات العضوية البلورات من التجمع بعضها مع بعض وتنظم معدل نموها. ويمكن التحكم في هندسة الجسيم إلى حد ما عن طريق خلط نسب مختلفة من الجزيئات العضوية. ويمكن لهذا التفاعل أن يولد جسيمات بأشكال متنوعة، بما في ذلك كرات وقضبان ورباعيات القوائم جسيمات ذات أربع قوائم تشبه دمى المقابيس.toy jacks

من المهم تركيب النقاط الكمومية بحجم وبنية منتظمين، لأن حجم النقطة يتحدد بصفاتها الإلكترونية والمغنطيسية والضوئية. ويستطيع الباحثون اختيار حجم الجسيمات عن طريق تغيير طول الزمن اللازم للتفاعل. كما يساعد التغليف العضوي على تحديد حجم الجسيمات. وعندما يكون الجسيم النانوي صغيرا (بمقياس الجزيئات)، يكون التغليف العضوي غير محكم ويسمح بمزيد من النمو؛ ومع توسع الجسيم تزدحم الجزيئات العضوية. وهناك حجم أمثل optimum للجسيمات يسمح بأكثر تغليف ثباتا للجزيئات العضوية، وبذلك يوفر أعظم استقرار لسطوح البلورات.

عمل بنى نانوية : مقارنة الطرائق

يقوم الباحثون بتطوير مجموعة من التقنيات لعمل بنى أصغر من 100 نانومتر. ونعرض فيما يلي ملخصا لميزات ومساوئ أربع طرائق منها.

الليثوغرافيا الضوئية

الحسنات: سبق للصناعة الإلكترونية أن ألفت هذه التقانة لأنها تستخدم حاليا في تصنيع الشيبات الميكروية. ويمكن للمصنعين تعديل هذه التقنية لإنتاج بنى بمقياس النانو عن طريق استخدام الحزم الإلكترونية أو الأشعة السينية أو الضوء فوق البنفسجي.

المساوئ: التعديلات اللازمة ستكون مكلفة وصعبة تقنيا. إن استخدام الحزم الإلكترونية لتشكيل بنى معينة مكلف وبطيء. ويمكن للأشعة السينية والضوء فوق البنفسجي المتطرِّف أن يلحقا الضرر بالمعدات المستخدمة في هذه العملية.

طرائق مسابير المسح

الحسنات: يمكن لمجهر المسح النفقي ومجهر القوة الذرية أن يستخدما في تحريك جسيمات نانوية مفردة وترتيبها في نماذج. وتستطيع هذه الأدوات أن تبني حلقات وأسلاكا عرضها ذرة واحدة فقط.

المساوئ: تعدُّ هذه الطرائق بطيئة جدا من أجل الإنتاج بالجملة. وفي الغالب ستقتصر تطبيقات هذين المجهرين على تصنيع أجهزة متخصصة.

الليثوغرافيا اللينة

الحسنات: تمكِّن هذه الطريقة الباحثين من نسخ غير مكلف لنماذج كُوِّنت باستخدام الليثوغرافيا اللينة أو تقنيات أخرى ذات صلة. فالليثوغرافيا اللينة لا تتطلب معدات خاصة، ويمكن إجراؤها يدويا في مختبر عادي.

المساوئ: تعد هذه التقنية غير مثالية لإنتاج البنى المتعددة الطبقات الخاصة بالأجهزة الإلكترونية. ويحاول العلماء تجاوز هذا العائق، لكن لم يثبت حتى الآن نجاح محاولاتهم.

الطرائق الصعودية:

الحسنات: من خلال إجراء تفاعلات كيميائية مضبوطة بعناية، يستطيع الباحثون بشكل رخيص وسهل تجميع ذرات وجزيئات في أصغر البنى النانوية، في أبعاد تتراوح ما بين 2 و10 نانومترات.

المساوئ: لما كانت هذه الطرائق لا تستطيع إنتاج نماذج مصممة ومترابطة فيما بينها، فهي غير مناسبة لعمل أدوات إلكترونية كالشيبات الميكروية.

تعد هذه الجسيمات النانوية من سيلانيد الكادميوم بأول منتجات العلم النانوي التجارية: تطور الشركة Quantum Dot Corporation البلورات لاستخدامها كواسمات بيولوجية. biological labels يستطيع الباحثون أن يعلّموا (4) البروتينات والحموض النووية بالنقاط الكمومية؛ وعندما تضاء العينة بضوء فوق بنفسجي تتفلور fluoresce البلورات عند طول موجي معين وتُظهِر بذلك مواضع البروتينات المرتبطة بالعينة. يتفلور أيضا العديد من الجزيئات العضوية، غير أن النقاط الكمومية تتمتع بعدة ميزات تجعلها واسمات أفضل. أولا، يمكن تفصيل لون تفلور نقطة كمومية حسب الرغبة عن طريق تغيير حجم النقطة: كلما كان حجم الجسيم أكبر، انحرف الضوء المنبعث نحو النهاية الحمراء من الطيف. ثانيا، إذا كان لجميع النقاط الحجم نفسه، يكون طيف تفلورها ضيقا- أي إنها تقوم بإصدار ألوان نقية جدا. وتعد هذه الخاصية مهمة لأنها تسمح لجسيمات من أحجام مختلفة بأن تستخدم كواسمات مميزة. ثالثا، لا يخبو

تفلور النقاط الكمومية عند تعرضها للضوء فوق البنفسجي وذلك على عكس حال الجزيئات العضوية، وعندما تستخدم كأصباغ في الأبحاث البيولوجية، يمكن ملاحظة النقاط الكمومية لفترات طويلة بصورة تلائم الغرض منها.

يتحرى الباحثون أيضا إمكانية إنتاج بنى من المواد الغروانية colloids – جسيمات نانوية عالقة. يستكشف B.C. مري وفريق لدى الشركة IBM استخدام مثل هذه المواد الغروانية لتكوين وسط تخزين فائق الكثافة ultrahigh-density لتخزين البيانات. وتحتوي المواد الغروانية العائدة لفريق الشركة IBM على جسيمات نانوية مغنطيسية لا تتجاوز أبعادها ثلاثة نانومترات، ويتألف كل منها من نحو 1000 ذرة من الحديد والبلاتين. وعندما تُنشر المادة الغروانية على سطح ما ويسمح للمذيب بالتبخر، تتبلور الجسيمات النانوية في صفيفات arrays ثنائية أو ثلاثية. وقد أشارت الدراسات الأولية إلى أن هذه الصفيفات يمكن أن تخزن تريليونات من بتات البيانات bits of data في البوصة المربعة الواحدة، مما يعطيها سعة أكبر بنحو عشر إلى مئة مرة من أجهزة الذاكرة الحالية.

مستقبل الصناعة النانوية

إن الاهتمام بالبنى النانوية كبير جدا إلى حد أن كل تقنية صنع معقولة يجري فحصها. ومع أن الفيزيائيين والكيميائيين يقومون حاليا بمعظم العمل في هذا المجال، فإنه يمكن للبيولوجيين أن يُسهموا فيه إسهاما قيما. إن الخلية (سواء كانت لثدييات أو لبكتيريا) تعد كبيرة نسبيا بمقياس البنى النانوية: البكتيرة النموذجية هي بطول 1000 نانومتر تقريبا، والخلايا الثديية أكبر. غير أن الخلايا مملوءة ببنى أصغر بكثير، والعديد منها معقد لدرجة مدهشة. فالريبوسوم

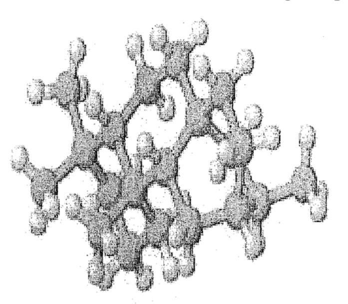
(الجسيم الريبي ribosome (على سبيل المثال يُنفذ إحدى أهم الوظائف الخلوية: تركيب البروتين من الحموض الأمينية مستخدما بذلك الرنا المرسال messenger RNA كقالب. يتجاوز بكثير تعقيد مشروع الإنشاء الخلوي هذا التقنيات التي هي من صنع الإنسان. ويكفي في هذا الصدد أن ندخل في اعتبارنا المحركات الدورانية للسوطيات البكتيرية الجرثومية bacterial flagella، التي تدفع بكفاءة عالية الكائنات الأحادية الخلية انظر: «الماكينات النانوية القديمة والمستقبلية»، في الصفحة 56.

ومن غير الواضح ما إذا كانت «الآلات النانوية» المأخوذة من الخلايا ستصير نافعة. وسيكون لها على الأغلب تطبيق محدود جدا في الإلكترونيات، غير أنها قد توفر أدوات ثمينة للتركيب الكيميائي وأجهزة الاستشعار. وقد أظهرت أعمال قام بها مؤخرا .D.C مونتيمانيو [من جامعة كورنيل] أنه يمكن هندسة آلة نانوية بدائية بمحرك بيولوجي. فقد استخرج مونتيمانيو بروتين محرك دوراني من خلية بكتيرية وقام بوصله بقضيب نانوي معدني- أسطوانة طولها 750 نانومترا وعرضها 150 نانومترا صُنعت باستخدام الليثوغرافيا. وقد زود المحرك الدوراني الذي لم يتجاوز طوله 11 نانومترا بالطاقة بوساطة أدينوسين ثلاثي الفوسفات adenosine triphosphate ATP، وهو مصدر الطاقة الكيميائية في الخلايا. لقد بيّن مونتيمانيو أن المحرك يستطيع تدوير القضيب النانوي ثماني دورات في الدقيقة. وعلى أقل تقدير، سيعمل مثل هذا البحث على تحفيز الجهود لإنتاج بنى نانوية وظيفية وذلك بإقامة الدليل على إمكانية وجود مثل هذه البنى.

طرائق صعودية (تحت- فوق) تبدأ من الذرات أو الجزيئات وتدريجيا تتولد بنى نانوية.

سيعتمد تطور التقانة النانوية على مدى توافر بنى نانوية. وقد وفر اختراع المجهر STM والمجهر AFM أدوات جديدة لمشاهدة هذه البنى وتمييزها ومعالجتها؛ والقضية الآن هي كيف نبني هذه البنى حسب الطلب، وكيف نصممها لتتمتع بوظائف جديدة نافعة. تنحو أهمية التطبيقات الإلكترونية إلى تركيز الانتباه على الأجهزة النانوية التي يمكن دمجها في الدارات المتكاملة المستقبلية. ولأسباب تقانية جيدة، فقد شددت الصناعة الإلكترونية على طرائق تصنيع هي امتداد لتلك المستخدمة حاليا في صنع الشيبات الميكروية. غير أن شدة الاهتمام بالعلم النانوي أوجدت طلبا على مجال واسع من طرائق التصنيع، مع التشديد على تقنيات ملائمة منخفضة التكلفة.

إن المقاربات الجديدة في إنتاج بنى نانوية تعد مقاربات غير معهودة لأنها فقط لم تستنبط من التقانات الميكروية المطورة للأجهزة الإلكترونية؛ إلا أن الكيميائيين والفيزيائيين والبيولوجيين يقبلون بسرعة هذه التقنيات باعتبارها أنسب الطرائق لبناء مختلف أصناف البنى النانوية لأغراض البحث. وقد تُكمِّل هذه الطرائق حتى المقاربات المعهودة- الليثوغرافيا الضوئية وليثوغرافيا الحزم الإلكترونية والتقنيات الأخرى ذات الصلة- من أجل التطبيقات الإلكترونية أيضا. فإلى حد ما لم تعد الإلكترونيات الميكروية النموذج الذي يُحتذى به في إنتاج بنى نانوية؛ فالأفكار في هذا المضمار تأتي من اتجاهات عديدة في اكتشافات عجيبة متاحة للجميع.



أ. التحضير بالطرق الفيزيائية:

التحضير انطلاقا من الحالة البخارية للمادة التي يحصل عليها بتسخين المادة أو قذفها بحزمة إلكترونات أو حلها حراريا بأشعة الليزر بصدمة بغاز محايد فيصبح أكثر إشباعا ويتم بعد ذلك وضعه بسرعة على سطح بارد لتجنب البناء البلوري أو التحام الأكوام.

تحضير المساحيق المتناهية في الصغر باستعمال الموجات على مساحيق من أبعاد مليمتريه، من مميزات هذه التقنية أنها غير ملوثة.

ب. التحضير بالطرق الكيميائية:

التفاعلات في الحالة البخارية يدخل بخار المادة التي يراد تحضيرها في مفاعل CVD حيث تمتز جزيئات المادة على سطح أساس بدرجة حرارة ملائمة الجزيئات الممتزة إما تتفكك أو تتفاعل مع غازات أخرى.

التفاعلات في وسط سائل، السوائل الأكثر استعمالا هي الماء أو السوائل العضوية ويتم ترسيب الجزيئات النانومترية بتغيير شروط التوازن الكيميائي- الفيزيائي.

أ. التحضير بالطرق الميكانيكية:

التركيب الميكانيكي تعتمد هذه التقنية على سحق مادة مكونة من جزيئات ميكرومترية من 1 um إلىum 30 لعدة خلائط لمزجها. الميزة الأساسية لهذه التقنية أنها تسمح بدخول رواسب نانومترية أو أجسام متناهية قي الصغر موزعة بشكل متجانس داخل المادة كما تسمح بإنتاج مواد ضخمة من عدة كيلوغرامات إلى أو حتى أطنان.

عملية الرص والتزجيج الأولى تمكن هذه العملية من تحويل مادة ذرورية إلى قطعة ضخمة وتتركز في مرحلتين:

- عملية الرص الميكانيكي.
- عملية إذابة مسحوق المعادن لتكثيله بعد التبريد.

تحضير جسيمات الفضة النانوية

هناك طرق عديدة ومختلفة لإنتاج جسيمات الفضة النانوية ويمكن تقسيمها إلى ثلاث فئات عريضة: الترسيب الفيزيائي للبخار (PVD)، زرع الأيونات، أو الكيمياء الرطبة.

زرع الأيونات

على الرغم من انها قد تبدو غير بديهية إلا ان زرع الأيونات قد تم استخدامه لتصنيع جسيمات الفضة النانوية. وأظهرت هذه العملية إنتاج جسيمات الفضة المتضمنه في البولي يوريثين والسيليكونو البولي إيثيلينو البولي

ميثيل ميثاأكريلات. وتنموالجسيمات على الركيزة بواسطة قصف الأيونات.ويتم إثبات وجود الجسيمات النانونية بواسطة الامتصاص الضوئي وذلك على الرغم من عدم معرفة طبيعة الجزيئات التي تم إنشاؤها باستخدام هذه الطريقة.

الكيمياء الرطبة

هناك العديد من الطرق الكيميائية الرطبة التي تُستخدم في إنتاج جسيمات الفضة النانوية. وعادة ما تتضمن هذه العلمية على حدوث اختزال لملح من أملاح الفضة مثل نترات الفضة $AgNO_3$ وباستخدام عامل مختزل مثل بوروهيدريد الصوديوم $NaBH^-_4$ وذلك في وجود مثبت غروي. وقد تم استخدام بوروهيدريد الصوديوم مع كحول البولي فينيل والبيروليدون بولي فينيل ومصل زلال أو ألبيومين الأبقار (BSA) والسترات والسليلوز كعوامل مثبته. في حالة (BSA) المجموعات الحاملة للكبريت والأكسجين والنيتروجين تخفف من الطاقة السطحية العالية للجسيمات النانوية أثناء عملية الاختزال. ووجد أن مجموعة الهيدروكسيل في السليلوز تساعد على استقرار الجسيمات. ويحتوي البوليدوبامين المغلف للسليلوز البكتيري المغناطيسي على مجموعات متعددة الوظائف والتي تعمل بمثابة العوامل المختزلة في إعداد موقع أو الوضع الطبيعي للمواد النانوية المُضادة للبكتريا المعاد استخدامها. وقد تم استخدام السيترات والسليلوز لإنتاج جسيمات الفضة النانوية المستقلة عن العامل المختزل كذلك. وهناك طريقة جديدة إضافية للكيمياء الرطبة والمستخدمة في إنتاج جسيمات الفضة النانوية قد أخذت فرصة استخدام البيتا- داي جلوكوز كسكر مُختزل والنشا كمثبت. أيضاً من المهم أن نلاحظ أن ليس كل الجسيمات النانوية قد صُنعت متشابهه. وقد تبّين أن الحجم والشكل قد يكون لهم تأثير على فعالية الجسم. بالإضافة إلى ذلك فإن حجم الجانب الكريستالي ومحتوى الأكسيد وعدة عوامل أخرى قد تؤثر أيضاً على الخصائص المضادة للميكروبات.

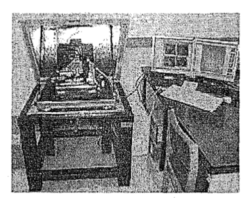
الفصل الرابع

الاجهزة المستخدمة في

تقنية النانو

الفصل الرابع
الاجهزة المستخدمة في تقنية النانو

مجهر القوة الذرية (AFM)



شكل (40) مجهر الطاقة الذرية

مجهر الطاقة الذرية (Atomic Force Microscope, AFM) أو ما يسمى مجهر القوة الذرية AFM هو جهاز يستخدم في مجال تقنية النانو لمعرفة ورسم تضاريس السطوح ذات الأبعاد النانوية والميكرونية.

وميكروسكوب القوة الذرية أو ميكروسكوب القوة الماسحة Scanning Force Microscopy SFM هو ميكروسكوب ذو قدرة تحليلية عالية وهو أحد أنواع ميكروسكوبات المجسات الماسحة المسماة بالميكروسكوب النفقي الماسح STM Scanning Tunnel Microscopy. ولكن هذا الميكروسكوب له قدرة تحليل تصل إلى اجزاء من النانومتر حيث انه يفوق حد تكبير الميكروسكوبات الضوئية بأكثر من 1000 مرة. ويعتبر هذا الميكروسكوب متطورا عن الميكروسكوب النفقي الماسح STM. اخترع ميكروسكوب القوة الذرية AFM العالمين Quate وGerber في العام 1986. وتوفر أول جهاز للاستخدام في

المختبرات العلمية في العام 1986. ويعتبر هذا الميكروسكوب الأكثر شهرة كأداة تكبير وقياس وتحريك على المستوى النانوي.

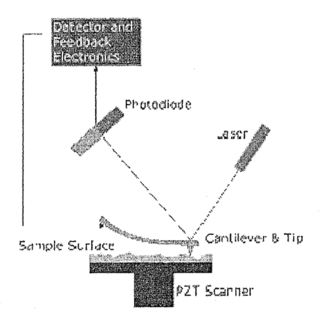
وحديثاً تمكن علماء فيزيائيون في جامعة اوساكا في اليابان من استخدام ميكروسكوب القوة الذرية AFM في التعرف على هوية التركيب الكيميائي وتحديد نوع كل ذرة ومكان تواجدها على المخطط ثلاثي الابعاد لتضاريس سطح المادة على المستوى الذري. وقد اكتشف هؤلاء العلماء ان التفاعلات تشكل بصمة ذرية لتمييز الذرات باستخدام ميكروسكوب AFM.

مبدأ عمل الجهاز

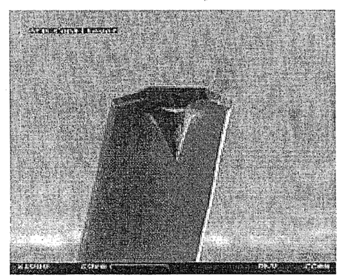
يتألف الجهاز من ابرة ذات ابعاد ميكرونية تقوم بالمرور على السطح المراد مسحه، تكون هذه الابرة مثبتة إلى حامل افقي بينما تكون هي نفسها عمودية على هذا الحامل وعلى السطح المراد مسحه، يتم إسقاط شعاع ليزري على الحامل والذي يرتفع وينخفض مع ارتفاع وانخفاض الابرة وبالتالي مع تنوع تضاريس السطح من ارتفاع وانخفاض، ويتم التقاط منعكس الشعاع الليزري على الحامل على مستقبل وبالتالي يتم تحديد ورسم تضاريس السطح الممسوح تبعا لحركة منعكس الشعاع الليزري.

استخدام الجهاز

يستخدم مجهر الطاقة الذرية في معرفة تضاريس السطوح ذات الابعاد النانوية وحتى الميكرونية، في السنوات الأخيرة تنوع استخدام هذا الجهاز حيث أصبح يستخدم في قياسات أخرى مثل قياس مرونة الجزيئات النانوية والميكرونية والخلايا كما أصبح يستخدم في قياس طاقة الالتصاق بين الجزيئات الكيميائية والجزيئات النانوية والميكرونية والخلايا أيضا.



شكل (41) مخطط توضيحي لفكرة عمل ميكروسكوب القوة الذرية



شكل (42) صورة توضح ذراع AFM ويبلغ عرضه 100 ميكروميتر ويمكن ان يصل إلى 20 ميكروميتر او اقل.

يتكون ميكروسكوب القوة الذرية AFM مـن ذراع cantilever في نهايتـه مجس probe مكون من رأس حاد يعرف بالـ tip يسـتخدم لمسـح سـطح العينـة. تكون الذراع مصنوعة من مادة السليكون أو نيتريد السـيليكون بنصـف قطـر في حدود بضع نانومترات. عندما يقترب رأس المجس من سطح العينة تتولد قوة بين رأس المجس وسطح العينة تؤدي هذه القوة إلى انحراف في الذراع بنـاء علـى قـوة هوك. وقد تكون القوة المتبادلة قوة ميكانيكية أو قوة فاندرفال أو قوة شعرية قوة كهروستاتيكية أو قوة مغناطيسية أو قوة رابطة كيميائية أو قـوة كزيمـار أو غيرهـا من أنواع القوة وهذا حسب نوع السطح الذي يتم دراسـته. كمـا يمكـن دراسـة العديـد مـن أنـواع هـذه القـوة باسـتخدام مجسـات خاصـة وعنـدها يسـمى الميكروسكوب باسمها مثل ميكروسكوب القـوة المغناطيسـية magnetic force Microscope (MFM) أو ميكروسـكوب المسـح الحـراري scanning thermal microscopy أو غـيره. وفي كـل هـذه الميكروسـكوبات تحـدث القـوة المتبادلـة بـاختلاف أنواعهـا انحـراف في ذراع ميكروسـكوب القـوة الذريـة يقـاس هـذا الانحراف بواسطة انحراف شعاع ليزر عن مرآة مثبتة علـى ذراع الميكروسـكوب. وشـعاع الليـزر المـنعكس يرصـد علـى مصـفوفة خطيـة مـن الفوتودايـود. Photodiodes وهنـاك طـرق أخـرى لقيـاس الانحـراف مثـل مقيـاس التـداخل الضـوئي optical interfermetry أو باسـتخدام بيـزوالكترك أو مجـس سـعة كهربائية. وحسب طريقة قياس الانحراف يتم تصميم ذراع الميكروسكوب فمـثلا لو كانت طريقة القياس تعتمد على الكهربـاء الانضـغاطية (بيـزوالكتروك) فـان الذراع تصنع من مواد بيزوالكتروك. ولكن تعتبر طريقة قياس الانحـراف بشـعاع الليزر الطريقة الادق والاكثر استخداما. اذا تم مسح المجس عند ارتفاع معين مـن سطح العينة فقد يكون هناك خطورة على المجس بان يصطدم بالسطح، ولتجنـب

حدوث هذا يتم استخدام تغذية عكسية للتحكم في المسافة بين المجس وسطح العينة لتحافظ على القة المبادلة بينهما ثابتة. ويتم تثبيت العينة على قاعدة من مادة بيزوالكترك تحرك العينة في الاتجاه z للحفاظ على قيمة ثابتة للقوة المتبادلة بين المجس وسطح العينة وكذلك تحريك العينة في البعدين x وy وهناك أنواع أخرى من ميكروسكوبات القوة الذرية تستخدم 3 بلورات بيزوالكتريك كل بلورة مسئولة عن اتجاه من اتجاهات الحركة الثلاثة. وفي التصاميم الحديثة يتم تثبيت الذراع على ماسح بيزوالكتريك افقي في حين يتم تحريك العينة فقط في الاتجاهين x وy وفي النهاية نحصل على خريطة لمساحة تمثل طبوغرافيا سطح العينة. يمكن تشغيل ميكروسكوب القوة الذرية AFM بعدة انماط تشغيل وهذا حسب الاستخدام المطلوب ونوع الفحص المراد. وبصفة عامة يمكن تقسيم انماط التشغيل بنوعين هما نمط التشغيل الاستاتيكي أو نمط الاتصال والنوع الثاني هو نمط التشغيل الديناميكي أو نمط عدم الاتصال.

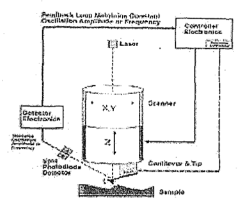
انماط التشغيل واخذ الصور

ذكرنا ان هناك نمطين اساسيين من انماط تشغيل جهاز AFM وهما النمط الاستاتيكي والذي يتم فيه سحب الذراع عبر سطح العينة ويتم مباشرة قياس تضاريس السطح من خلال الانحرافات في الذراع. والنمط الديناميكي يكون الذراع يتذبذب بالقرب من السطح عند تردد رنيني. resonance frequency ويتم قياس التردد والسعة والطور وتردد الرنيني من خلال القوة المتبادلة بين المجس وسطح العينة. هذه التغيرات في التردد بالنسبة لتردد المرجعي يعطي معلومات عن خصائص العينة.

النمط الاستاتيكي او نمط الاتصال

هذا النمط يستخدم الانحراف في رأس المجس كإشارة للتغذية العكسية ولان قياس الإشارة في هذا النمط يتعرض للضجيج يتم استخدام ذراع اقل صلابة لتكبير مقدار إشارة الانحراف. ويقرب المجس من سطح العينة بحيث يحدث قوة تنافر تنتج عن الالكترونات على سطح العينة والكترونات المجس. ويتم الحفاظ على ثبات مقدار القوة التنارية هذه أثناء المسح من خلال المحافظة بقاء الانحراف ثابتاً.

النمط الديناميكي او نمط عدم الاتصال

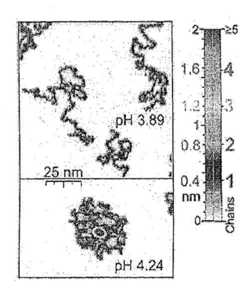


شكل (43) نمط عدم الاتصال في ميكروسكوب القوة الذرية

في هذا النمط لا يكون المجس متصلا مع سطح العينة. بل يكون الذراع متذبذب عند تردد أكبر بقليل من تردد الرنين حيث تكون سعة الذبذبة في حدود بضع نانومتر (اقل من 10 نانومتر). وتكون القوة المتبادلة بين المجس وسطح العينة هي قوة فاندرفال van der Waals وهي تكون مسيطرة عند تلك المسافة أي في حدود 1 إلى 10 نانومتر فوق سطح العينة، وهذه القوة تعمل على تقليل تردد الرنين للذراع. هذا الانخفاض في تردد الرنين يستخدم في نظام التغذية

العكسية الذي يقوم بالحفاظ على جعل سعة الاهتزازة ثابتا من خلال اعادة ضبط المسافة بين المجس والسطح. وبقياس المسافة بين المجس والسطح أثناء المسح في الاتجاهين x,y يتم رسم الصورة لطبغرافية سطح العينة باستخدام برامج معدة لذلك. هذا النمط لا يتعرض رأس المجس لأي ضرر لا نه لا يحتك مع سطح العينة مثلما يحدث مع النمط السابق. وهذا يجعل من نمط التشغيل الديناميكي مفضل أكثر وخصوصا في حالة التعامل مع العينات اللينة. ولكن في حالة العينات الصلبة فان الصور التي تؤخذ بكلا النمطين تكونا متماثلتين. ولكن إذا وجدت طبقة نانوية من مادة سائلة على سطح العينة فان النمطين سوف يعطيا صورا مختلفة بعض الشيء. لان المجس في النمط المتصل يخترق طبقة السائل ليعطي صورة للسطح الاسفل منها، في حين ان النمط غير المتصل سوف يتذبذب فوق السطح ويعطي صورة لكلا من السائل والسطح معا.

نمط النقر

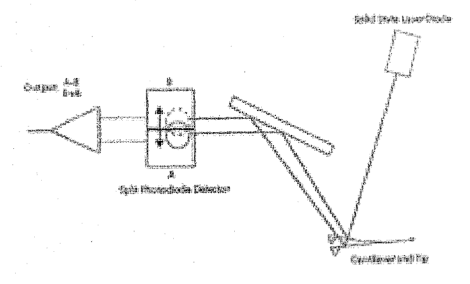


شكل (44) سلسلة بوليمر مفرد، (بسمك 0.4nm)، سجلت بنمط النقر Tapping modeفي وسط مائي عند قيم pH مختلفة

في أغلب الأحيان تتكون طبقة مائية فوق سطح العينة. ولأننا نجعل رأس المجس قريب جدا من العينة للحصول على إشارة لمقياس القوة المتبادلة فانه من المحتمل ان يلتصق رأس المجس في العينة ولمنع هذا من الحدوث تم تطوير النمط الغير متصل بنمط النقر tapping mode وذلك للتغلب على هذه المشكلة.

في نمط النقر تتذبذب الذراع للأعلى والاسفل بالقرب من تردد الرنين وتكون سعة الذبذبة أكبر من 10 نانو متر حيث تتراوح بين 100 و200 نانومتر. ونظرا للقوة المتبادلة التي تؤثر على الذراع عند اقترابها من سطح العينة فان قوة فاندرفال أو قوة ثنائيات القطب المتفاعلة أو القوى الكهروستاتيكية تتسبب في تغير في سعة الذبذبة وتقل كلما اقترب رأس المجس من سطح العينة. يتم التحكم بارتفاع الذراع بواسطة بيزوالكترك تعمل على ضبط ارتفاع الذراع أثناء مسح العينة. ويعتبر نمط التشغيل هذا نمط متطور عن نمط عدم الاتصال.

قياس انحراف ذراع ميكروسكوب القوة الذرية



شكل (45) قياس انحراف الشعاع في جهازAFM

ينعكس شعاع ليزر دايود على الجانب الخلفي للزراع ويتم التحكم فيه من خلال كاشف حساس للموضع position sensitive detector (PSD) يتكون من فوتوديودين موضوعين بالقرب من بعضهما البعض والمخرج من كل فوتودايود موصل في مكبر. differential amplifier الازاحة الزاوية للذراع تجعل أحد الديودين يلتقط إشارة أكبر من الديود الاخر. وهذا يعطي إشارة تتناسب مع انحراف الذراع. وتصل حساسية الجهاز إلى كشف انحراف اقل من 10 نانومتر. ويمكن تكبير التغير في زاوية الشعاع بزيادة طول مسار شعاع الليزر بضع سنتيمترات.

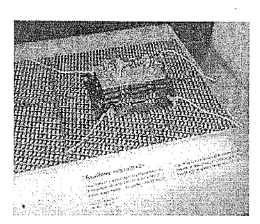
مطياف القوة

بالإضافة إلى استخدام ميكروسكوب القوة الذرية في الحصول على صور على المستوى الذري يستخدم الميكروسكوب في تحليل القوة، فعلاقة قياسات القوة بين رأس المجس وسطح العينة كدالة في المسافة بينهم نحصل على نتائج تعرف باسم منحنى القوة والمسافة .force-distance curve في هذه الطريقة يتم مد رأس المجس وسحبه عن سطح العينة أثناء مراقبة انحراف الذراع كدالة في ازاحة البيزوالكتريك. هذه الوظيفة استخدمت في قياسات على المستوى النانوي مثل الروابط الذري وقوى فانردفال وقوى كايسمر وقوى التحلل في السوائل والجزيئات المفردة وقوى التمدد والتمزق. وهذه القوة صغيرة جدا في حدود البيكونيوتن piconewton ولا يمكن قياسها باي جهاز اخر والان أصبح قياسها بجهاز AFM وعلى وبدقة تحليلية تصل إلى 0.1 نانومتر. يمكن الحصول على قياسات مطياف القوة في كلا نمطي التشغيل الاستاتيكي والديناميكي.

التعرف على الذرات وتميزها

يستخدم مقياس القوة الذرية AFM للحصول على صور للذرات ولتحريكها أيضا على اسطح المواد. فالذرة على رأس المجس تتحسس الذرات ذرة ذرة على سطح العينة وتشكل قوة كيميائية مع كل ذرة. ولان هذه التفاعلات تغير بشكل دقيق تردد اهتزاز رأس المجس، فإنها يمكن ان تقاس وترسم. وعلى هذا الاساس تم التميز بين ذرات السليكون والتن والرصاص على سطح سبيكة، من خلال مقارنة البصمات الذرية وتكبيرها. حيث تم ملاحظة ان رأس المجس يتفاعل مع ذرات السليكون بقوة في حين يتفاعل مع ذرات التن والرصاص بقوة اقل. ولهذا فان الذرات المختلفة يمكن ان تتميز في صورة مصفوفة أثناء مرور رأس المجس على سطح العينة.

المزايا والعيوب



شكل (46) أول ميكروسكوب قوة ذرية

ومن عيوب جهاز AFM بالمقارنة مع جهاز SEM هو حجم الصورة. فجهاز SEM قادرا على مساحة تصل إلى بضع مليمترات وبعمق يصل إلى بضع مليمترات إلا أن جهاز AFM يعمل على مساحة 150 x150 مايكرومتر وبعمق

10-20 ميكرومتر. ولكن هذا العيب تم التعامل معه من خلال تطوير أجهزة AFM بواسطة شركة IBM تعمل بمجسين متوازيين. كما ان استخدام رأس مجس tip غير مناسب قد يعطي بعض العيوب في الصورة الناتجة. بالإضافة إلى ان AFM يعمل ببطء بالمقارنة مع SEM الذي يعطي صورة حية للعينة فان AFM يتطلب ان يعمل لبضعة دقائق حتى يعطي صورة .وهذا التأخير يؤدي إلى انزياح حراري في الصورة مما يجعل ميكروسكوب القوة الذرية غير مناسب للقياسات الدقيقة للمسافات الطوبوغرافية على الصورة. ويتم تطوير أجهزة AFM للتغلب على هذه المشكلة بأجهزة تعرف باسم videoAFM والتي تعمل بسرعة فاقت سرعة .SEM تتأثر صور AFM بالتخلف hysteresis في المواد البيزوالكتريك والتداخل في الإشارات الملتقطة لكل من x,y أثناء المسح ولكن هذا تم التغلب عليه باستخدام برمجيات متطورة وفلاتر خاصة أو باستخدام ماسحات متعامدة منفصلة. ماسح البيزوالكتريك Piezoelectric هو عبارة عن ماسح من مادة بيزوالكتريك وهي مواد تنضغط وتتمدد بتطبيق فرق جهد كهربي وهذه الخاصية تستخدم في تحريك رأس المجس على العينة بدقة عالية. وقد تم شرح فكرة عمل البيزوالكتريك في مقال كيف تعمل الكهرباء الانضغاطية. في النهاية نلاحظ كيف ان الميكروسكوبات تختلف باختلاف الطريقة التي تقوم بها بالحصول على الصورة وفي هذا المقال قمنا بشرح فكرة مبسطة عن ميكروسكوب القوة الذرية والذي مكن العلماء من رؤية الذرات والتميز بينها والتحكم بها الذي فتح الباب امام تكنولوجيا النانو لتدرس المواد على المستوى الذري وفهم الكثير من خصائصها.



شكل (47) مسبار مستشعر نانوي يحمل شعاع ليزر (أزرق) يخترق خلية حية لاستكشاف وجود منتجٍ ما يشير إلى أن الخلية تعرضت إلى مادةٍ مسرطنةٍ.

يشير مصطلح مستشعر نانوي (Nanosensor) إلى كل نقاط الاستشعار الكيميائية والحيوية أو حتى الجراحية المستخدمة لتوصيل معلوماتٍ حول الجسيمات النانوية (nanoparticles) إلى العالم الجهري. ما يجعل من أهم وظائفها بصورةٍ أساسيةٍ أنها تُستخدم لأغراضٍ طبيةٍ وكبواباتٍ لبناء المنتجات النانوية، ومنها على سبيل المثال رقاقات الحاسوب على الصعيد النانوي بالإضافة إلى تصنيع روبوتات النانو. هذا بالإضافة إلى أنه توجد في وقتنا الحالي العديد من الطرق المقترحة لصناعة مستشعرات النانو ومنها: الطباعة من أعلى إلى أسفل (top-down lithograph)، التجميع من أسفل إلى أعلى (bottom-up assembly)، والتجميع الذاتي الجزيئي (molecular self-assembly).

تطبيقات محتملة

تدور الاستخدامات الطبية لمستشعرات النانو بصورةٍ أساسيةٍ حول إمكانية استخدام مستشعرات النانو للتعرف بدقةٍ على خلايا خاصةٍ أو أماكنٍ معينةٍ مطلوب الوصل إليها داخل الجسم. فقد يكون للمستشعرات النانوية القدرة على التمييز بين والتعرف على خلايا معينةٍ، أغلبها مرتبط بالخلايا السرطانية، على المستوى الجزيئي، من خلال قياس التغير في الحجم، التركيز، الإزاحة والسرعة المتجهة، بالإضافة إلى القوى المغناطيسية، الكهربائية، والجاذبية، وكذلك التغير في الضغط درجة حرارة الخلايا داخل الجسم، وذلك بهدف توصيل الدواء أو ضبط تطور مناطقٍ معينةٍ داخل الجسم. هذا بالإضافة إلى أنها قد تكون قادرةً كذلك على استكشاف التنوعات الميكروسكوبية (المجهرية) من خارج الجسم وتوصيل هذه التغيرات للمنتجات النانوية الأخرى العاملة داخل الجسم كذلك.

وتتضمن إحدى أمثلة مستشعرات النانو استخدام الخواص الفلورية لنقاط سيلينيد الكادميوم الكمومية كمستشعراتٍ للكشف عن الأورام داخل الجسم. وذلك من خلال حقن الجسم بهذه النقاط الكمومية، حيث يستطيع الطبيب أن يرى مكان تواجد الورم أو الخلية السرطانية من خلال العثور على مكان تواجد تلك النقاط الكمومية، فهي طريقةٌ بسيطةٌ بسبب فلوريتها. ومن ثم سيتم بناء نقاط مستشعرات النانو الكمومية خصوصاً للعثور على خليةٍ معينةٍ فقط والتي قد تمثل مصدر خطورةٍ ما للجسم. حيث نلاحظ أن الجانب السلبي لنقاط سيلنيد الكادميوم، على الرغم من ذلك، هو أنها عالية السمية للجسم البشري. نتيجةً لذلك، يعمل الباحثون جاهدين لتطوير نقاطٍ بديلةٍ مصنوعةٍ من موادٍ أخرى أقل سميةٍ، وفي الوقت ذاته يكون لها القدرة على اكتساب بعض الخصائص الفلورية. قام بعض العلماء على الأخص بالبحث والاستقصاء في الفوائد الخاصة لنقاط

كبريتيد الزنك الكمومية والتي، على الرغم من عدم كونها على نفس درجة فلورية سيلنيد الكادميوم، فإن لها القدرة على أن تتزايد مع المعادن الأخرى ومنها المنغنيز ومختلف عناصر اللانثينيدات. هذا بالإضافة إلى أن تلك النقاط الكمومية الجديدة تصبح أكثر فلوريةٍ عندما تلتحم بالخلايا المستهدفة. (كم) هذا وقد تشتمل الوظائف المتوقعة أو المحتملة الأخرى على مستشعراتٍ تُسْتَخْدَم لاستكشاف بعضاً من الأحماض النووية الخاصة، بهدف التعرف على العيوب الوراثية الواضحة، وخاصةً في حالات الأفراد المعرضون للخطورة العالية بالإضافة إلى المستشعرات المزروعة والتي يكون لها القدرة على استكشاف مستويات سكر الدم بصورةٍ آليةٍ لدى مرضى السكري، حيث يتم ذلك بصورةٍ أسهلٍ من المستكشفات المتوفرة حالياً. كما أن الحمض النووي قد يلعب دور الطبقة المضحية لتصنيع دارات السيموس المتكاملة (CMOSIC)، وذلك من خلال دمج الجهاز النانوي مع القدرات الاستشعارية. ومن ثم فمن خلال استخدام الأنماط البروتينية والمواد المهجنة الجديدة، يمكن استخدام مستشعرات النانو الحيوية كذلك لتمكين المكونات المؤكدة داخل ركائز أشباه الموصلات الهجينة كجزءٍ من مُجَمّع الدائرة. مع ملاحظة أن تطوير وتصغير مستشعرات النانو الجزيئية قد توفر فرصاً جديدةً مثيرةٍ لمجالات استخداماتها.

وغالباً ما تتضمن المنتجاتٍ الأخرى استخدام مستشعرات النانو لبناء داراتٍ متكاملةٍ أصغرُ حجماً، بالإضافة إلى دمجها ضمن البضائع الأخرى المختلفة والمصنعة بواسطة استخدام أشكال وتطبيقات تقانة الصغائر الأخرى، بهدف استخدامها في مجالاتٍ متنوعةٍ ومنها مجالات النقل، الاتصالات، تحسينات الوحدة أو الكُلِيّة الهيكلية (التكامل الهيكلي)، بالإضافة إلى تصنيع روبوتات النانو. مما يجعل من مستشعرات النانو في نهاية المطاف منتجاتٍ قد يكون لها

قيمتها العالية كضوابطٍ دقيقةٍ لحالات المادة بهدف استخدامها في تلك الأنظمة التي يُقَيَد فيها الحجم والوزن، كما هو الحال في الأقمار الصناعية وآلات الملاحة الجوية الأخرى.

مستشعرات النانو القائمة

تتواجد أشهر المستشعرات النانوية الكتلية الوظيفية والمصنعة حديثاً في العالم البيولوجي، حيث تُستَخْدَم كمستقبلاتٍ طبيعيةٍ للتنبيه والتحفيز الخارجي. فعلى سبيل المثال، تقوم حاسة الشم وخاصةً عند الحيوانات التي يكون عندها تلك الحاسة قوية، ومنها الكلاب مثلاً، بوظيفتها من خلال استخدام مستقبلاتٍ تشعر وتحس بالجزيء النانوي. هذا وتستخدم بعض النباتات المستشعرات النانوية لاستكشاف ضوء الشمس؛ في حين تستخدم أنواعاً متعددةً من الأسماك مستشعرات النانو لاستكشاف الاهتزازات الضئيلة في بيئة المياه المحيطة؛ وتستكشف العديد من الحشرات كذلك المستشعرات النانوية لاستكشاف هرمونات الجنس.

حيث قام الباحثون في معهد جورجيا التقني بصناعة أحد نماذج المستشعر النانوي التركيبي العاملة في عام 1999. والذي تضمن توصيل جسيم فردي بنهاية أنبوب نانوي كربوني بالإضافة إلى قياس تردد ذبذبات أو رنين الأنبوب النانوي سواءً مع الجسيم أو بدونه. مع ملاحظة أن التناقض بين الترددين سمح للباحثين بقياس كتلة الجسيم المتصل بالأنبوب.

هذا وقد تم تصنيع المستشعرات الكيميائية كذلك من خلال استخدام الأنابيب النانوية لاستكشاف الخصائص المتنوعة للجزيئات الغازية. كما استُخْدِمَت الأنابيب النانوية الكربونية للإحساس بتأين الجزيئات الغازية في حين

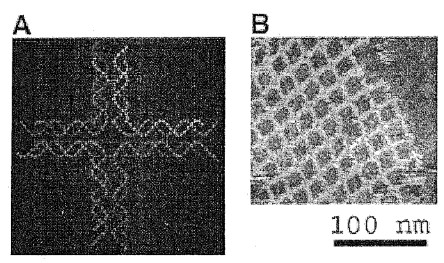
أن الأنابيب النانوية المصنوعة من التيتانيوم يتم توظيفها لاستكشاف التركيزات الجوية للهيدروجين على المستوى الجزيئي. حيث تتضمن العديد من تلك المهام نظاماً تعتمد مستشعرات النانو عليه في عمليات التصنيع، بهدف أن يكون بها جيباً محدداً لجزيءٍ آخرٍ، وعندما يتناسب ذلك الجزيء الخاص، والذي يكون هو فقط المناسب، مع مستشعرٍ نانويٍ محددٍ، ويضيء الضوء على سطح المستشعر النانوي، فإنه يقوم بعكس الطول الموجي للضوء، ومن ثم، يكون له لوناً آخراً.

طرائق الإنتاج

تتواجد العديد من الطرائق المفترضة لتصنيع مستشعرات النانو. وهنا تُعَد الطباعة الحجرية من أعلى إلى أسفل الطريقة الأكثر شيوعاً في مجال تصنيع معظم الدارات المتكاملة في وقتنا الحالي. فهي تتضمن عملية البدء بحزمةٍ أكبرٍ من بعض المواد، ثم نحت النموذج المرغوب. مع ملاحظة أن تلك الأجهزة المنحوتة كانت تتسم بأحجامها الميكروية، إلا أن النماذج الأكثر حداثةً منها شرعت في دمج مكوناتٍ نانويةٍ.

بالإضافة إلى الطريقة السابقة، توجد طريقةٌ أخرى لتصنيع مستشعرات النانو والتي تتمثل في طريقة من أسفل إلى أعلى، والتي تتضمن تجميع المستشعرات من أكثر المكونات ضآلةً، والتي في الأغلب ما تكون ذراتٍ منفردةٍ أو حتى جزيئاتٍ. وهذا يتضمن تحريك ذرات مادةٍ معينةٍ واحدةً تلو الأخرى داخل أوضاعٍ محددةٍ والتي، على الرغم من تحقيقها في الاختبارات المختبرية باستخدام أدواتٍ منها مجهر الطاقة الذرية (atomic force microscopes)، ما زالت تمثل أكبر صعوبةٍ هامةٍ في المجال، وخاصةً في حالة التعامل مع الكتلة، سواءً بالنسبة لأسبابٍ منطقيةٍ أو لأسبابٍ اقتصاديةٍ. وفي الأغلب، تُسْتَخْدَم هذه

العملية بصورةٍ أساسيةٍ بهدف تصنيع أو بناء جزيئاتٍ بادئةٍ للمستشعرات المجمعة ذاتياً.



شكل (48) (أ) نموذج لجزيء الحامض النووي كبادىء لتجمع ذاتي أكبر حجماً. (ب) صورة لجهر طاقة ذرية لشبكة نانوية للحامض النووي المجمع ذاتياً. بلاط الحامض النووي الفردية المجمعة داخل شبكة نانوية للحامض النووي ثنائية الأبعاد ومرتبة بدرجةٍ عاليةٍ مؤقتةٍ.

أما الطريقة الثالثة والتي تُعَد واعدةً بنتائجٍ أكثر سرعةٍ، فتتضمن التجمع الذاتي، أو البنيات النانوية الخاصة "المتنامية" ليتم استخدامها كمستشعراتٍ. ويستلزم هذا في أغلب الأحوال واحداً من إثنين من التجميع. حيث يتضمن النوع الأول من المجمعات استخدام قطعةً من بنيةٍ نانويةٍ تم تصنيعها مسبقاً أو تكونت بصورةٍ طبيعيةٍ، ودمجها في ذراتٍ حرةٍ من نفس نوعها. وبعد مدةٍ زمنيةٍ محددةٍ، تجتذب وتأسر تلك البنية النانوية، والتي تتسم بأنها ذات سطح غير مستوٍ والذي يجعلها معرضةً لاجتذاب جزيئاتٍ كاستمرارٍ لنموذجها الحالي، بعضاً من الذرات الحرة وتستمر في تشكيل المزيد من نفسها بهدف تكوين مكوناتٍ أضخم منها من المستشعرات النانوية. أما النوع الثاني من التجمعات الذاتية فيبدأ بمجموعةٍ كاملةٍ فعلاً من المكونات والتي جَمَعّت نفسها تلقائياً في منتجٍ نهائيٍ.

وعلى الرغم من أن هذا كان ناجحاً فقط في تجميع رقاقات الحاسوب على المستوى الميكروي، فيأمل الباحثون لأن يكونوا قادرين في النهاية على أن يفعلوا الأمر ذاته على المستوى النانوي للعديد من المنتجات، ومنها مستشعرات النانو. إلا أنه عند التحدث وبدقة عن الرغبة في إنتاج ذلك المستشعر المقصود داخل المعمل، فإن ذلك الأمر يتطلب أن يقوم الباحثون بتصنيع مستشعراتٍ نانويةٍ أكثر سرعةٍ بكثير، والتي من المحتمل أن تكون أرخص تكلفةً من خلال السماح للعديد من الجزيئات بالتجمع ذاتياً مع القليل أو حتى بدون أي تأثيرٍ خارجيٍ، بدلاً من ضرورة تجميعها يدوياً في كل مستشعرٍ.

التأثيرات الاقتصادية

على الرغم من أن تقانة مستشعرات النانو تُعَد مجالاً حديثاً نسبياً، إلا أن التوقعات العالمية لمبيعات المنتجات المدمجة مع مستشعرات النانو تتراوح من 0.6 مليار دولاراً أمريكياً إلى 2.7 مليار دولاراً أمريكياً في خلال الثلاث أو الأربع سنواتٍ القادمة. حيث أنه من المرجح أن يتم إدراجها في معظم الدوائر الأكثر حداثةٍ لأنظمة الحاسوب، وذلك بسبب قدرتها على توفير الصلة أو الرابط فيما بين الأشكال الأخرى لتقانة الصغائر، هذا بالإضافة إلى أن العالم المرئي العياني يسمح للمطورين بالاستغلال الكامل لقدرة تقانة الصغائر على تصغير أحجام رقائق الحاسوب في حين يتم زيادة وتوسيع سعتها التخزينية.

إلا أنه على الرغم من ذلك، يجب على مطوري مستشعرات النانو أن يتغلبوا على مشكلة التكلفة العالية الحالية للإنتاج، بهدف أن تُصبح مسألةً تستحق العناء ليتم تنفيذها في مجال المنتجات الاستهلاكية. هذا بالإضافة إلى أن موضوع موثوقية وصدق مستشعرات النانو ليست مناسبةً حتى وقتنا هذا لينتشر

استخدامها، وبسبب نقص مؤنها، فإنه يجب تسويق مستشعرات النانو وتنفيذها خارج حدود المنشآت البحثية. ومن ثم، فإنه يجب أن تكون مستشعرات النانو متوافقةً مع معظم تقنيات المستهلك والتي من أجلها يتم تصنيعها، لتقوم بتعزيزها في نهاية المطاف.

التأثيرات الاجتماعية

من الصعب تعريف التأثيرات الأخلاقية والاجتماعية وتصنيفها إلى تأثيراتٍ حميدةٍ وأخرى سيئةٍ عند مقارنتها بالتأثيرات الصحية والبيئية. حيث أن التقدمات في مجالي الكشف والاستشعار عن مختلف الأنواع الحيوية والكيميائية ذات القدرة والكفاءة المتزايدة قد تنقل آلياتٍ اجتماعيةٍ والتي كانت قد صُممت في الأصل بُناءً على الشك وعدم اليقين والمعلومات غير الدقيقة. فعلى سبيل المثال، القدرة على قياس الكميات المنخفضة بصورةٍ حادةٍ لملوثات الهواء أو المواد السامة في المياه تثير تساؤلاتٍ ومعضلات مشارف الخطر، خاصةً لو كانت التقدمات تلك والخاصة بالتقنية تفوق قدرة العامة على الرد. كما هو الحال مع المستشعرات الطبية لن تساعد فقط في التشخيص والعلاج، إلا أنها قد تساعد كذلك في التنبؤ بالملامح الشخصية للفرد. حيث سيضيف هذا للمعلومات المستخدمة من قِبَلْ شركات التأمين الطبي لتمنح أو تنكر مبالغ التأمين. هذا وتضمن العديد من القضايا الأخرى والتي تنبثق من الاستخدام واسع النطاق لمستشعرات النانو وأجهزة المراقبة غزو الخصوصية والقضايا الأمنية.

الفصل الخامس

إدارة المخاطر الإنسان والبيئة والصحة السلامة

الفصل الخامس
إدارة المخاطر
الإنسان والبيئة والصحة والسلامة

تعد دراسة الآثار الصحية الناجمة عن الجسيمات المحمولة جوا هـي أقـرب شيء لدينا لأداة لتقييم المخاطر المحتملة على الصحة من جزيئـات النـانو الحـرة، وعموما فقد أظهرت الدراسات انه كلما صغر التجزي للمادة كلما صارت أكثر سمية، ويرجع ذلك الي ان عدد الجزيئات يتزيـد والحجـم يـنقص. واسـتنادا إلى المعلومات المتاحة، فأن منهجيات تقيـيم المخـاطر الحاليـة ليسـت مناسـبة لتقيـيم المخاطر الناجمة عن جزيئات النانو؛ على وجه الخصوص الأساليب القائمة علـم السموم وعلم السموم الإيكولوجية ليست على مستوى هذه المهمة، يجب أن يتم تقييم التعرض للجسيمات النانوية عن طريـق كميـة الجسـيمات النانويـة و/ أو مساحة السطح بدلا من الكتلة، ان معدات الكشف الروتيني وقياس الجسـيمات النانوية في الهواء والماء والتربة تعتبر غير ملائمة والقليل جدا هـو المعـروف عـن الاستجابات الفسيولوجية للجسيمات النانوية.

ان الهيئـات الرقابيـة في الولايـات المتحـدة وكـذلك في الاتحـاد الأوروبـي توصلوا إلى احتمال وجود خطر جديد تماما مـن الجسـيمات النانويـة، وأنـه مـن الضروري إجراء تحليل واسع للخطر في ذلك، ان التحدي للمنظمين هـو مـا إذا كان يمكن تطوير مصفوفة التي من شأنها أن تحديد الجسيمات النانوية وتركيباتهـا الأكثر تعقيدا مما يمكن أن يكون لها خصائص سـامة أو مـا إذا كـان مـن الممكـن فحص كل جسيم بشكل منفصل.

تأثيرات تقنية النانو

لتأثيرات تقنية النانو سيلٌ من التطبيقات البشرية والطبية والأخلاقية والنفسية والقانونية والبيئية، والمرتبطة بالعديد من المجالات ومنها الهندسة، وعلم الأحياء، والكيمياء، والحوسبة، وعلوم المواد، والتطبيقات العسكرية، والاتصالات بل ان تأثيراتها يصعب حصرها.

وتشمل فوائد تقنية النانو تحسين أساليب التصنيع، وأنظمة تنقية المياه، وشبكات الطاقة، وتعزيز الصحة البدنية، الطب النانوي، وتحسين طرق إنتاج الأغذية والتغذية على نطاق واسع والبنية التحتية لصناعة السيارات. المنتجات المصنوعة مع تقنية النانو قد تتطلب العمل قليلا، والأرض، أو الصيانة، وتكون ذات إنتاجية عالية، وانخفاض في التكلفة، ولها متطلبات متواضعة للمواد والطاقة.

إلا أن المخاطر قد تكون مرتبطةً بكلٍ من المجالات البيئية والصحية، وقضايا السلامة والآثار السلبية للجسيمات الدقيقة التي يتم دراستها قبل أن يفرج عنهم؛ الآثار الانتقالية مثل النزوح من الصناعات التقليدية ومنتجات تكنولوجيا النانو أصبحت مهيمنة؛ التطبيقات العسكرية مثل الأسلحة البيولوجية، والمراقبة من خلال مجسات النانو، والتي تثير قلق المدافعين عن حقوق الخصوصية.

هناك جدل حول ما إذا كان موضوع تقنية النانو خاصا بالتنظيمات الحكومية، والهيئات التنظيمية، كوكالة حماية البيئة الأمريكية ومديرية الصحة وحماية المستهلك التابعة للمفوضية الأوروبية والتي قد بدأت التعامل مع المخاطر المحتملة لهذه التقنية المثيرة للجدل. ومن الجدير بالذكر أن العالم العربي يفتقر إلى

هـذه المؤسسـات. كمـا كـان لقطـاع الأغذيـة العضـوية السـبق في التعامـل مـع الاستبعاد المنظم للجسيات النانوية من عملية الإنتاج العضـوية المعتمـدة في كـلٍ من أستراليا والمملكة البريطانية المتحدة.

الفوائد المتوقعة

المقال الرئيسي: قائمة تطبيقات تقنية النانو يـرى العديـد مـن المتفـائلين في مجال تقانة النانو ومنهم بعض الحكومـات أن لتقانـة النـانو العديـد مـن الفوائـد ومنها:

- وفرة المواد الحميدة بيئياً والمستخدمة لتوفير موارد نظيفة للمياه.
- المحاصيل والأغذية المهندسة وراثياً تسهم في وفـرة وزيـادة الإنتاجيـة الزراعيـة بأقل متطلبات للعمل.
- تعزيز ودعم الناحية التغذوية التفاعلية الذكية للأغذية.[2]
- توليد الطاقة الرخيصة والقوية.
- زيادة القدرة التصنيعية النظيفة وذات الكفاءة العالية.
- تحسـين صـياغة وتركيبـات الأدويـة بصـورةٍ جزريـةٍ بالإضـافة إلى عمليـات التشخيص واستبدال الأعضاء.
- زيادة سعة تجزين المعلومات وإمكانيات الاتصال.

تصنيع الأجهزة التفاعليـة الذكيـة: بزيـادة الأداء البشـري مـن خـلال التقنيـات المتقاربة.

المخاطر المحتملة

يمكن إجمال مخاطر تطبيقات تقانة الصغائر بشكلٍ واسعٍ ضمن الأربعة مجالات التالية:

- قضايا صحية- تأثيرات المواد النانوية على حيوية الجسم البشري.
- قضايا بيئية- تأثيرات المواد النانوية على البيئة.
- قضايا اجتماعية- التأثيرات الناجمة عن إمكانية استخدام الأجهزة النانوية على الشؤون السياسية والتفاعل البشري.
- غراي غو- المخاطر الخاصة المصاحبة للرؤية المتوقعة لتقنية النانو الجزيئية.

الآثار الصحية والسلامة من الجسيمات النانوية

لا يمثل التواجد البحت للمواد النانوية (و هي المواد التي تحتوي على جسيم نانوي) أي تهديدٍ في حد ذاته. إلا أنه هناك سماتٍ معينةٍ تجعل منها محفوفةً بالمخاطر، وعلى الأخص حركتها تفاعلها المتزايد. وأنه فقط في حالة أن خصائصاً معينةً لبعض الجزئيات النانوية كانت ضارة للكائنات الحية أو البيئة فن ذلك سيسفر عن مواجهتنا لخطرٍ جلٍ. وفي هذه الحالة يمكن أن نطلق علي ما الناتج تلوثٍ نانويٍ.

كما أننا في حاجةٍ إلى التمييز بين نوعين للبنية النانوية وذلك عند مواجهة التأثير البيئي والصحي للمواد النانوية ويتمثلان في: (1): مركبات النانو والأسطح النانوية ومكونات النانو (سواءً الإلكترونية أو البصرية أو الحساسة...إلأخ)، حيث يدمج الجزئيات على صعيد النانو ضمن خلاصة المادة أو المادة نفسها أو حتى الأجهزة (الجزئيات النانوية "الثابتة")؛ و(2): الجزئيات

النانوية "الحرة"، حيث تتواجد جزئيات النانو الفردية لمادةٍ ما ضمن بعض مراحل عملية الإنتاج والاستخدام. وقد تندرج جزئيات النانو تلك ضمن أحد أصناف نطاق النانو للعناصر أو المركبات البسيطة وكذلك المركبات المعقدة حيث يكون الجسيم النانوي مطليّاً بمادةٍ أخرى (جسيم نانوي "مطلي" أو جسيم نانوي "جوهري القشرة").

ومن ثم فهناك إجماعٍ للرأي أن: على الرغم من أنه يجب على المرء أن يكون واعياً بالمواد المحتوية على جزئياتٍ نانويةٍ ثابتةٍ، إلا أن القلق الحالي يتمثل في الجزئيات النانوية الحرة.

هذا بالإضافة إلى أن الجزئيات النانوية مختلفةً بصورةٍ كبيرةٍ عن نظرائها الحاليين، ومن ثم لا يمكن اشتقاق تأثيراتها المتنوعة والمتعددة من السمية المعروفة للمواد دقيقة- الحجم. وتسفر تلك النقطة عن إثارة قضايا هامة لمواجهة التأثيرات الصحية والبيئية للجزئيات النانوية الحرة.

ولتعقيد الأمور أبعد من ذلك، فمن الضروري عند التحدث عن الجزئيات النانوية ألا يكون المسحوق أو السائل المحتوي على جزئيات نانوية أحادي التشتت أبداً، ولكنه يحتوي بدلاً من ذلك مدىً متنوعاً من أحجام الجزيئات. ويسفرذلك عن تعقيدٍ للتحليل التجريبي حيث أن الجزئيات النانوية الأكبر في الحجم قد يكون لها خصائصٍ مختلفةٍ عن تلك الأصغر في الحجم. هذا بالإضافة إلى أن الجزئيات النانوية تظر توجهاً للتجمع، ومثل تلك التجمعات غالباً ما يكون أداؤها مختلفاً عن الجزئيات المتفردة.

وقد تميزت جرعة الإيثيل والمشتملة على أنواعٍ مختلفةٍ من الجزئيات النانوية والتي كان يتم إعطائها لفئران المعامل على مدى ستة أشهرٍ، بمؤشر سكوفكجائير، تيمناً باسم العالم كاسبر سكوفك جائير.

ويجري المعهد القومي للسلامة المهنية والصحة العديد من الأبحاث حول كيفية تفاعل الجزئيات النانوية مع أنظمة الجسم وكيفية احتمالية تعرض العاملين في المصانع أو أثناء الاستخدام الصناعي للمواد النانوية للجزئيات النانوية الحجم. حيث يُصدر المعهد القومي للسلامة المهنية والصحة الإرشادات المتوافقة مع أفضل المعرفة العلمية والهادفة للتعامل مع المواد النانوية.

وقد اقترحت إ. مارلا فلتشر من "لجنة سلامة المنتجات الاستهلاكية وتقانة النانو" أن: لجنة سلامة المنتجات الاستهلاكية، والتي تعد مسؤولةً عن حماية الجمهور من أية مخاطرٍ غير مبررةٍ للإصابة أو الموت المصاحب لمنتجات المستهلك، غير مجهزةٍ بشكلٍ جيدٍ للإشراف على سلامة المنتجات المعقدة عالية التقنية والمنتجة بواسطة تقانة النانو.

كما تركز اهتمامات المدى الأطول على التأثيرات الخاصة بالتقنيات الجديدة على المجتمع بقطاعاته العريضة، وكذلك على ما إذا كان من الممكن لتلك التأثيرات أن تؤدي إلى ظهور اقتصاد ما بعد الندرة، أو قد تؤدي إلى تفاقم فجوة الثروة فيما بين الأمم المتطورة والنامية. هذا بالإضافة إلى أن تأثيرات تقانة النانو على المجتمع ككل وعلى صحة البشر والبيئة كذلك، بالغضافة إلى تأثيراتها على التجارة والأمن وأنظمة الغذاء، بل حتى على تعرف مصطلح "البشري" لم يتم تحديد ملامحها بعد أو تسييسها كذلك.

قضايا صحية

التأثيرات الصحية لتقنية النانو

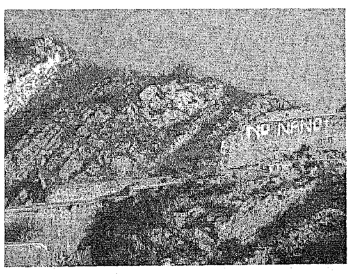
تتمثل التأثيرات الصحية لتقانة النانو في تلك الآثار المحتملة للمواد والأجهزة النانوية على صحة الانسان. وبما أن تقانة النانو هي مجال مستحدث،

فقد أسفر ذلك عن قيام جدالٍ واسعٍ حول المدى الذي يمكن عنده الاستفادة أو التعرض للمخاطر الخاصة بتقانة النانو على الصحة الإنسان. ويمكن تقسيم التأثيرات الصحية لتقنية النانو إلى: قدرة أو إمكانية الاختراعات النانوية على أن يكون لها تأثيراتها الطبية في علاج الأمراض، وكذلك المخاطر الصحية المحتملة عند التعرض للمواد النانوية.

ويُعرّف علم السموم النانوي على أنه ذلك المجال الذي يهتم بدراسة المخاطر الصحية المتوقعة للمواد النانوية. ويعني الحجم المتناهي الدقة والصغر للمواد النانوية أن لها القدرة على النفاذ داخل الجسم البشري عن غيرها من الجسيمات كبيرة الحجم. كما أن كيفية تحرك وتفاعل تلك الجسيمات النانوية داخل الكائن الحي تعد من القضايا الكبيرة والتي هي في حاجةٍ ليتم حلها والتعامل معها. ويعد سلوك الجسيمات النانوية مدلولاً لوظيفتها وحجمها وتفاعلها السطحي مع النسيج المحيط. وتتجمع الجسيمات النانوية داخل الأعضاء كجزءٍ ناتجٍ عن كونها لا تتحلل أو تتحلل بصورةٍ بطيئةٍ، ومما يدعو أيضاً للقلق هو تفاعلها المتوقع مع العمليات الحيوية داخل الجسم: حيث أنه بسبب سطحها الضخم، وبمجرد تعرض الجسيمات النانوية للنسيج والسوائل، يتم امتصاص بعض الجزيئات الدقيقة التي تحتوي عليها على أسطح تلك الأنسجة. كما أن العدد الضخم للمتغيرات المؤثرة على التسمم يعني أنه من الصعب تعميم القضايا المرتبطة بالمخاطر الصحية المرتبطة بالتعرض للمواد النانوية – حيث يجب تقييم كل مادة نانوية بصورةٍ فرديةٍ كما أنه يجب وضع خصائص المواد جميعها في الاعتبار. كما أنه يتم دمج كلٍ من القضايا الصحية والبيئية في بيئة عمل الشركات ذات الصلة بعمليات إنتاج واستخدام المواد النانوية بالإضافة إلى بيئة عمل المعامل المرتبطة بالعلوم النانوية والأبحاث في مجال تقنية النانو. ومن الآمن أن نقول أن معايير التعرض للغبار ببيئة العمل الحالية لا يمكن تطبيقها بصورةٍ مباشرةٍ على غبار جسيمات النانو.

ويُعبِّر مصطلح طب النانو عن التنطبيقات الطبية لتقانة النانو. وتتنوع أساليب طب النانو من الاستخدام الطبي للمواد النانوية إلى أجهزة استشعار العوامل البيولوجية المرتبطة بالإلكترونيات النانوية وكذلك التطبيقات المستقبلية لتقنية النانو الجزيئية. ويهدف طب النانو إلى التوصل إلى مجموعةٍ قيّمةٍ من الأدوات البحثية بالإضافة إلى الأجهزة المفيدة في عيادات العلاج في المستقبل القريب. وتتوقع مبادرة التقانة النانوية القومية أن يتم التوصل إلى تطبيقاتٍ تجاريةٍ جديدةٍ في مجال توصيل الدواء والتي قد تشتمل على أنظمةٍ متقدمةٍ لتوصيل الدواء، بالإضافة إلى علاجاتٍ جديدةٍ وكذلك تصوير إن فيفو. كما أن واجهات التفاعل العصبية الإلكترونية والمحسات الأخرى المرتبطة بالإلكترونيات النانوية تمثل هدفاً نشيطاً آخر للبحث في ذلك المجال. ويؤمن المجال التنبؤي لتقنية النانو الجزيئية أن آلات إصلاح الخلية قد يكون لها القدرة على إحداث ثورةٍ في مجال الطب والأدوية كذلك.

قضايا بيئية



شكل (49) الجماعات المعارضة لإقامة معامل تقنيات الصغائر في مدينة جرينوبل بفرنسا، عبرت عن معارضتها على إحدى حوائط قلعة قديمة بأعلى المدينة

تأثيرات بيئية لتقنيات الصغائر

يعد تلوث تقنيات الصغائر مصطلحاً عاماً وشاملاً لكل النفايات الناجمة عن استخدام أجهزة التقنية المصغرة أو خلال عملية تصنيع مواد تقنيات الصغائر. وقد تعتبر تلك النفايات على درجةٍ عاليةٍ من الخطورة، ذلك بسبب حجمها. حيث تستطيع أن تطفو في الهواء وقد تخترق بسهولةٍ الخلايا الحيوانية والنباتية مسببةً بذلك تأثيراتٍ مجهولةٍ لكلٍ منهما. كما أن معظم جزئيات الصغائر التي صنعها الإنسان غير مرئيةٍ في الطبيعة، ومن ثم قد لا تمتلك الكائنات الحية وسائلاً ملائمةً للتعامل مع تلك النفايات المصغرة.

لتقييم المخاطر الصحية لجزئيات الصغائر المصنعة، لابد من تقويم دورة الحياة الكاملة لتلك الجزئيات، متضمنةً عملية تصنيعها، تخزينها وتوزيعها بالإضافة إلى تطبيقها وإساءة استخدامها والتخلص منها كذلك. كما أن التأثيرات الناجمة على البشر والبيئة قد تتنوع وتتغير خلال مراحل عديدة من دورة حياتها. ويثير سكرينيز القلق حول التلوث الناجم عن تقنيات الصغائر، ويوضح أنه ليس بالإمكان في الوقت الحالي أن "يتم التنبؤ بشكلٍ دقيقٍ أو حتى التحكم في التأثيرات البيئية لانبعاث مخلفات تلك التكنولوجيا في البيئة".

وعلى الجانب الآخر، قد يمكن الاستفادة من بعض تطبيقات النانو المتاحة في المستقبل لخدمة الأغراض البيئية. حيث تستند أحد فئات أساليب الترشيح على استخدام الأغشية ذات أحجام الثقوب الملائمة، مما يسمح بحجز السائل خلف ذلك الغشاء. ومن ثم تعد الأغشية نانوية المسام مناسبةً لعملية الترشيح الميكانيكية والتي تتسم بأنها ذات مسام أصغر من 10 نانومتر (قد يتكون من أنابيبٍ نانويةٍ). ويستخدم الترشيح النانوي بشكلٍ رئيسي بهدف إزالة الأيونات أو فصل السوائل المختلفة. وتوفر الجسيمات النانوية المغناطيسية طريقةً فعالةً

ومعتمدةً في إزالة ملوثات المعادن الثقيلة من المياه المستعملة عن طريق الاستفادة من أساليب الفصل المغناطيسية. ويزيد استخدام الجسيمات النانوية من فعالية القدرة على امتصاص الملوثات بالإضافة إلى أنها عمليةٌ ليست بالمكلفة بالمقارنة مع طرق الترسيب والترشيح التقليدية. هذا بالإضافة إلى أنه قد يكون لتقنية النانو تأثيراً عظيماً على عملية إنتاج الطاقة النظيفة.

وما زالت الأبحاث جارية بهدف استخدام المواد النانوية لأغراضٍ تشتمل على خلايا شمسية أكثر كفاءةٍ بالإضافة إلى خلايا وقود عملية وبطاريات صديقة للبيئة.

حاجة للتنظيم

تنظيم تقنية النانو

ظهر جدالٌ حيويٌ حول ما إذا كانت تقانة النانو أو المنتجات القائمة على تقنية الصغائر تستحق تنظيماً حكومياً خاصاً. هذا ويرتبط الجدال القائم بالظروف المحيطة والتي فيها يصبح من الضروري والملائم أن يتم تقييم المواد الجديدة قبيل عرضها في السوق والمجتمع والبيئة.

وقد بدأت الهيئات التنظيمية كوكالة حماية البيئة الأمريكية وإدارة الصحة والأغذية، القائمة بالولايات المتحدة الأمريكية، أو مديرية الصحة وحماية المستهلك التابعة للمفوضية الأوروبية بالتعامل مع المخاطر المتوقعة والناجمة عن الجسيمات النانوية. وحتى وقتنا هذا، لم يتم إخضاع الجسيمات النانوية المهندسة أو المنتجات والمواد التي تحتوي على تلك الجسيمات لأي تشريعٍ خاصٍ والمرتبط بعملية الإنتاج والتداول التصنيف. هذا بالإضافة إلى أن صحيفة تعليمات سلامة

المنتج والتي يجب إصدارها مع إنتاج بعض المواد، لا تميز بين الأحجام الكبيرة والنانوية المتناهية الصغر للمواد موضوع النقاش أو حتى عندما تكون مثل تلك الصحائف استشاريةً فقط.

وقد تسفر عملية تصنيف وتنظيم تقانة النانو عن تفاقم قضايا السلامة الصحية البشرية والبيئية والمصاحبة لتقنية الصغائر. كما تم توضيح أن التنظيم الشامل لتنمية تقنية الصغائر يمثل ضرورةً لضمان أن المخاطر المتوقعة والمصاحبة للأبحاث والتطبيقات التجارية لتقنية الصغائر لا يحجب أو يعتم على الفوائد المتوقعة لتقنية الصغائر. كذلك تصبح عملية التنظيم مطلوبةً بهدف مواجهة توقعات المجتمع حول التنمية المسؤولة لتقنيات الصغائر، وضمان أن الرغبات العامة قد تم دمجها في صياغة وتشكيل عملية تنمية تقانة النانو.

كاليفورنيا

أعلن قسم ضبط المواد السامة ب وكالة حماية البيئة بكاليفورنيا عن نيته لطلب معلوماتٍ حول طرق الاختبارات التحليلية، وقضيتي المصير ووسائل النقل بالبيئة، هذا بالإضافة إلى معلوماتٍ أخرى من المصانع حول أنابيب الكربون النانوية. ويمارس قسم ضبط المواد السامة سلطته بموجب قانون الصحة والسلامة بولاية كاليفورنيا، الفصل 699، البنود من 57018- إلى 57020، والتي تم إضافتها كنتيجةٍ لدمج [جمعية بيل أ ب 289 (2006)]. وقد هدفت تلك البنود إلى توفير المعلومات حول المصير ووسائل النقل بالإضافة إلى الكشف والتحليل وكذلك المعلومات المرتبطة بالمواد الكيميائية المتاحة بصورةٍ كبيرةٍ. وقد أسند القانون مسؤولية توفير تلك المعلومات على عاتق القسم ليفرضها على كلٍ من يصنع أو يستورد تلك المواد الكيميائية المختلفة.

وفي 22 يناير 2009، تم إرسال خطاب طلب معلوماتٍ رسميٍ ل أصحاب المصانع التي تستورد أنابيب الكربون النانوية بكاليفورنيا، أو هؤلاء الذين قد يصدرون أنابيب الكربون النانوية إلى داخل الولاية. وقد شكل هذا الخطاب أول ممارسةٍ رسميةٍ للسلطات الموجودة بالولاية وفقاً لقانون أيه بي 289 وقد تم توجيهه لأصحاب مصانع أنابيب الكربون النانوية، بالإضافة إلى الهيئات الصناعية والأكاديمية بالولاية، وكذلك تم توجيه الخطاب لأصحاب المصانع من خارج الولاية والذين يستوردون أنابيب الكربون النانوية إللى كاليفورنيا. وجيب الرد على طلب المعلومات ذلك من قبل أصحاب المصانع في غضون عامٍ من إرسال الخطاب. ومن ثم فوكالة حماية البيئة بكاليفورنيا في حالة انتظار حتى 22 من يناير 2010 القادم كحدٍ أقصى لاستلام الردود على خطابات طلب تلك المعلومات.

وقد استضافت شبكة صناعات النانو بكاليفورنيا ووكالة حماية البيئة بكاليفورنيا ندوةً أقيمت في 16 من نوفمبر 2009 والتي استغرقت يوماً كاملاً بساكرامينتو بكاليفورنيا. وقد وفرت الندوة الفرصة للاستماع لخبراء الصناعة في مجال تقانة النانو بالإضافة إلى مناقشة الاعتبارات التنظيمية المستقبلية بكاليفورنيا.

وتقوم وكالة حماية البيئة بكاليفورنيا بمد وتوسيع طلب المعلومات الكيميائية الخاصة للأعضاء العاملين في مجال أكاسيد المعادن النانوية. وقد تم تشجيع الأفراد المهتمين بالقضية على زيارة موقعهم من أجل آخر التحديثات على:

http://www.dtsc.ca.gov/TechnologyDevelopment/Nanotechnology/index.cfm.

وبعيداً عن المخاطر المصاحبة للجيل الأول من تقانة النانو والتي تؤثر على كلٍ من الصحة البشرية والبيئة المحيطة، توجد مجموعة أوسع من التأثيرات الاجتماعية والتيتفرض المزيد من التحديات الإجتماعية عريضة المدى. حيث اقترح علماء الاجتماع أن يجب فهم وتقييم القضايا الاجتماعية المصاحبة لتقنية الصغائر بشكلٍ ليس بالبسيط؛ حيث لا يُنظر إليها على أنها مجموعة من التأثيرات أو المخاطر الجارية فقط. وبدلاً من ذلك، يجب أن توضع مثل تلك التحديات في الحسبان على أنها أبحاث وصناعة قرارات "ضد التيار" وذلك بهدف التأكد أن تنمية وتطوير تلك التقنية تتماشى وتتوافق مع الأهداف الاجتماعية.

وقد افترض العديد من علماء الاجتماع بالإضافة إلى منظمات المجتمع المدني أن عملية تقييم التكنولوجيا والإدارة لابد أن تتضمن المشاركة العامة للمواطنين.

ومن هنا فقد ظهرت قضية المخاطر الاجتماعية لاستخدام تقنية الصغائر. وعلى المستوى الأساسي، تشتمل تلك المخاطر على إمكانية التطبيقات العسكرية لتقنية الصغائر (وعلى سبيل المثال، ما يحدث من استخدام الزراعات والوسائل الأخرى لتدعيم وتعزيز المجندين كما هو الحال في معهد مجندي التكنولوجيا النانوية بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا) هذا بالإضافة إلى زيادة إمكانيات المراقبة المعززة من خلال استخدام المحسات النانوية.

وقد شهدت الأعوام القليلة الماضية دفعةً مميزةً في الدعوة إلى الحصول على براءات اختراعٍ في مجال تقنية الصغائر. حيث تم منح، خلال عام، 2003 ما لا يقل عن 800 براءة اختراع مرتبطٍ بمجال تقنية الصغائر، كما أن الأرقام تتزايد

عاماً بعد آخر. حيث تسعى الهيئات المختلفة حالياً للحصول على براءات اختراع واسعة المجال بالإضافة إلى الاكتشافاتِ النانويةِ المتنوعةِ كذلك. ومثال على ذلك، حصول شركتي إن إي سي وآي بي إم على براءات الاختراع الرئيسية في مجال الأنابيب النانوية الكربونية، والتي تعد إحدى أعمدة الأساس التي تقوم عليها تقنية الصغائر. وللأنابيب النانوية الكربونية مجالٌ واسعٌ من الاستخدامات، وشارفت أن تصبح حيويةً في مجال العديد من الصناعات المختلفة؛ من الإلكترونيات وصناعة الكمبيوتر إلى المواد المدعومة في صناعة الدواء والتشخيصات. كما تستعد أنابيب الكربون النانوية كذلك لتصبح مجتمعاً تجارياً رئيسياً مع قدرتها على أن تحل محل المواد الخام التقليدية التقليدية. وبالرغم من ذلك، ومع توسع مجال استخدامها، فيجب على كل فردٍ يسعى (بصورةٍ مشروعةٍ) ليصنّع أو يبيع الأنابيب النانوية الكربونية، بغض النظر عن نوع التطبيق المستخدمة لأجله، أن يشتري أولاً رخصةً لذلك إما من شركة (إن إي سي) أو شركة (آي بي إم).

المكاسب والمخاطر المحتملة بالنسبة للبلدان النامية

قد توفر تقنيات الصغائر حلولاً جديدةً للملايين من المقيمين بالدول النامية والذين يفتقرون الوصول إلى الخدمات الرئيسية، ومنها المياه الآمنة، موارد الطاقة الثابتة، الرعاية الصحية، وفرص التعليم. وقد أقرت الأمم المتحدة الأهداف الإنمائية للألفية لمواجهة تلك المتطلبات. وقد لاحظت فرقة الأمم المتحدة المعنية بالعلوم والتكنولوجيا والابتكار أن بعضاً من مزايا تقنية الصغائر تتضمن الإنتاج بالاعتماد على قوة العمل القليلة والأرض والصيانة والإنتاجية العليا والتكلفة المنخفضة والمتطلبات المتواضعة من المواد والطاقة.

تشـتمل الفـرص المتوقعـة لتقنيـات الصـغائر في المسـاعدة علـى مواجهـة أولويات التنمية العالمية الحرجة على أنظمة تنقيـة الميـاه المحسـنة، أنظمـة الطاقـة، الطب والأدوية، إنتاج الأغذية وكذلك التغذيـة، هـذا بالإضـافة إلى تكنولوجيـا المعلومات والاتصالات. كما نلاحظ أن تقنية الصـغائر قـد تم دمجهـا بالفعـل في المنتجات والسلع المتوافرة بالسوق. إلا أن المزيد من تقنيات الصغائر ما زالـت في طور البحث، في حين أن بعضها الآخر مـا زالـت سـوى مجـرد أفكـارٍ تحتـاج إلى سنينٍ وعقودٍ ليتم تطويرها وتنميتها.

وغالباً ما تعاني حماية البيئة وصحة البشر وسلامة العاملين بالدول الناميـة من مجموعة مركبة من العوامل والتي قد تشتمل على سبيل المثال وليس الحصـر، نقص التشـريعات القويـة لحمايـة البيئـة والصـحة البشـرية وسـلامة العـاملين؛ عمليات سوء التنظيم أو التنظيمات الغير مطبقة والمرتبطة بـنقص القـدرة الماديـة (ومنها التجهيـزات) والبشـرية كـذلك (ومنهـا طـاقم العمـل التنظيمـي سـيئ التدريب). وغالباً ما تحتاج تلك الدول للمعونة وبصورةٍ خاصـةٍ المعونـة الماليـة، بهدف تنمية القدرات العلمية والمؤسسية وذلك لتقييم ومواجهة المخاطر بصـورةٍ كافيةٍ، ومنها على سبيل المثـال الحاجـة لبنيـة تحتيـة ضـرورية كالمعامـل والتقنيـة المساعدة على الكشف والاستنتاج.

على الرغم من ذلك، فكثيراً ما تثار المخاوف حول مسألة أن فوائـد تقنيـة الصغائر لا يمكن حتى توزيعهـا، ومـن ثـم فأيـة فوائـدٍ (سـواءً أكانـت تقنيـة أو اقتصادية) والمصـاحبة لتقنيـة الصـغائر لـن تسـتفيد منهـا سـوى الـدول الغنيـة. ونلاحظ أن غالبيـة الأبحـاث في مجـال تقنيـة الصـغائر وصـور التنميـة وبـراءات الاختراعات الخاصة بالمواد والمنتجات النانوية مقتصرةً فقط على الدول المتقدمـة (ومنها الولايات المتحدة الأمريكية واليابان وألمانيا وكندا وفرنسا). هذا بالإضافة

إلى أن براءات الاختراعات المرتبطة بمجال تقنيات الصغائر متركزةً فقط لدى مجموعةً قليلةً من الشركات متعددة الجنسيات، ومنها شركة آي بي إم وتقنيات ميكرون وأدفانسد ميكرو ديفيسيز وشركة إنتل. مما أسفر عن إثارة المخاوف كذلك بأن الدول النامية قد لا تتمكن من الوصول إلى تلك البنية التحتية المطلوبة، وكذلك التمويل المطلوب والموارد البشرية اللازمة كذلك لدعم وتعزيز البحث والتنمية في مجال تقنية الصغائر ومن المرجح أن تتفاقم أزمة عدم المساواة نتيجةً لكل ذلك.

كما أن المنتجين بالدول النامية قد يعانون من خسائر عملية إحلال المنتجات الطبيعية (ومنها المطاط والقطن والقهوة والشاي) بسبب التنمية النانوية. حيث تمثل تلك المنتجات الطبيعية حاصلاتٍ مهمةٍ للتصدير بالدول النامية، كما أن متطلبات معيشة العديد من الفلاحين تعتمد على تلك الحاصلات. وقد تم توضيح أن عملية استبدال تلك المنتجات الطبيعية بالمنتجات النانوية الصناعية قد تؤثر سلباً على اقتصاديات الدول النامية والتي اعتمدت بصورةٍ تقليديةٍ على تصدير تلك الحاصلات.

الآثار المترتبة على تكنولوجيا النانو الجزيئية

تكنولوجيا النانو الجزيئية هي مجال فرعي تأملي ضمن دراسة تقنية الصغائر مع الوضع في الاعتبار هندسة المجمعات الجزيئية وهي الآلات التي تعيد تنظيم المادة على الصعيد الجزيئي أو الذري. وعندما يتعلق الأمر بمخاطر التصنيع الجزيئي، فغالباً ما يتم الاستشهاد بأسوء سيناريو وقع والمتمثل في "غراي غو" والذي هو عبارة عن مادة افتراضية تحول فيها سطح الأرض بواسطة التكرار الذاتي للنانوبوت فوضوية التشغيل. وقد قام فريتاس بتحليل ذلك

التصور في دراسته البحثية بعنوان: "Some Limits to Global Ecophagy by Biovorous Nanoreplicators، with Public Policy Recommendations".
حيث ظهر سيناريو مختلف يدعى غرين غو مع حلول تقنية النانو الحيوية. وليست النانوبوت هنا هي المادة الخبيثة، ولكنها الكائنات الحية ذاتية التكرار والمعدلة هندسياً من خلال تقنية الصغائر.

طبقاً لما ورد من قبل مركز تقنية النانو المسؤولة فإن:

التصنيع الجزيئي يسمح بالإنتاج الرخيص لأدواتٍ ومنتجاتٍ قويةٍ بصورةٍ مذهلةٍ. فكم عدد تلك المنتجات التي سنحتاجها؟ ما الضرر البيئي الناجم عن تلك المنتجات؟ ويعد مدى الضرر المتوقع واسعاً وعريضاً، حيث يتنوع من تحليق الطائرات الأسرع من الصوت والخاصة بالشخصيات الهامة على ارتفاعاتٍ منخفضةٍ مما يسفر عن إصابة عددٍ كبيرٍ من الحيوانات، إلى تجميع الطاقة الشمسية على صعيدٍ واسعٍ وبصورةٍ كافيةٍ لتعديل البياض على كوكب الأرض والتأثير مباشرةً على البيئة. كما ستسمح المواد الأقوى بإنتاج وتصنيع عدداً أكبر من الآلات والقادرة على الكشف والتنقيب وإلا تسفر عن تدمير المساحات العريضة من الكوكب بسرعةٍ متزايدةٍ.

وما زال الوقت مبكراً كثيراً لتقرير ما إذا كان هناك دافعاً اقتصادياً للقيام بذلك. على الرغم من ذلك، فإنه يبدو أن تلك المشكلة في حاجةٍ لإثارة القلق والمخاوف حولها نظراً للعدد الكبير من الأنشطة والأهداف والتي تفسد البيئة في حالة بدئها بنهاياتها، أو سهولة بدئها بنهايات التصنيع الجزيئي. كما قد يسفر مجموع بعضاً من الأفعال المنفردة عن ظهور بعض صور الضرر كذلك، والتي يكون كل فعلٍ منها غير ضارٍ في حد ذاته منفرداً. ومن الصعب منع وقوع مثل

ذلك النوع من الضرر بالإقناع، كما أن القوانين غير فعالةٍ كـذلك في مثـل تلـك المواقف؛ إلا أن الحظر المركزي على التقنية نفسها قد يمثل جزءً ضرورياً من حـل تلك المشكلة.

وفي الختام، فإن الدمج الشـديد لـلآلات النانويـة سيعزي مـن اسـتخدام المنتجات متناهية الصغر، والتي قد تتحول بسهولةٍ إلى نفاياتٍ نانويةٍ، سيكون من الصعب التخلص منها، قد تتسبب في وقوع مشكلاتٍ صحيةٍ.[27] ويسجل الموقع مجموعةً واسعةً من المخاطر والفوائد.

دراسات عن الآثار المترتبة على تكنولوجيا النانو

- أول محاولةٍ رئيسيةٍ لتقييم التأثيرات الاجتماعية لتقنية الصغائر كانت عبارة عن ورشة عمل أقامتهـا مؤسسـة العلـوم الوطنيـة، يـومي 28 و29 مـن سـبتمبر 2000. أما ورشة العمل الثانية المكثفـة أقامتهـا المؤسسـة نفسـها يـومي 2 و3 ديسمبر 2003م. وقد أعاد تحرير تقارير تلـك اللقـاءات ميهيـال سـي روكـو وويليام سيمز بينبريدج: *التـأثيرات الاجتماعيـة لتقنيـة الصـغائر، تكنولوجيـا النانو: الآثار الاجتماعية- تعظيم الفوائد من أجل الإنسانية*، and تكنولوجيـا النانو: الآثار الاجتماعية- توقعاتٍ فرديةٍ.
- ألهمت مخاوف الأمير تشارلز من تقانة نانوية فكرة تقريرٍ الجمعية الملكية لتقنيـة النانو، والذي اشتمل على عملية التصنيع الجزيئي. على الرغم مـن ذلـك، لم يتطرق التقرير إلى عملية التصنيع الجزيئي. (يمكنك الإطلاع علـى نقـد مركـز تقنية الصغائر المسؤولة حول إغفال التصنيع الجزيئي). وقد وردت كلمة "كي. إريك دريكسلر" مرةً واحدةً فقط في التقرير (مرور الكـرام)، كمـا لم يـتم ذكـر مصطلحات "التصنيع الجزيئي" أو "تقنية النانو الجزيئيـة" علـى الإطـلاق. ولكـن

غطى التقرير العديد من المخاطر على صعيد تقنيات الصغائر، ومنها علم السموم النانوي الجزيئي. كما أتاح التقرير الفرصة كذلك لاستعراض العديد من مجالات تقانة الصغائر. (و على من كان مهتماً بدراسة تقانة الصغائر التوسع في ذلك الوصف). كما يحتوي التقرير على (فهرس) حول موضوع غراي غو، والذي اقتبس تنوعاً أضعف من جدال ريتشارد سمالي المختصر ضد التصنيع الجزيئي. وإختتم التقرير بأنه لا يوجد دليل أن الآلات النانوية ذاتية التكرار والمستقلة سيتم تنميتها في المستقبل القريب، واقترح كذلك أن المنظمين يجب عليهم أن يكونوا أكثر اهتماماً بقضية التسمم النانوي الجزيئي.

- وفي عام 2008 فكرت مدينة كامبريدج، مانيسوتا في ما إذا كانت ستنشيء تنظيماً لتقنية الصغائر شبيه بذلك الموجود في مدينة بيركلي بولاية كاليفورنيا، حيث تعد الأخيرة المدينة الوحيدة بالولايات المتحدة الأمريكية والتي أنشأت حالياً تنظيماً لتقنية الصغائر. وقد أوصى التقرير النهائي للجنة الاستشارية للمواد النانوية بمدينة كامبريدج ضد هذه اللوائح والتنظيمات، ولكنه أوصى بدلاً من ذلك بخطواتٍ أخرى لتسهيل جمع المعلومات حول التأثيرات المتوقعة للمواد النانوية.

- وفي يوليو 2003 أصدرت وكالة حماية البيئة الأمريكية أول التماس لدراسةٍ بحثيةٍ في مجال تأثيرات تقنية الصغائر، تحت عنوان: "Exploratory Research to Anticipate Future Environmental Issues - Part 2: Impacts of Manufactured Nanomaterials on Human Health and the Environment."، كما اشتركت وكالة حماية البيئة الأمريكية في سبتمبر 2004 مع مؤسسة العلوم القومية ومركز ضبط الأمراض في إصدار ثاني التماسٍ لدراسةٍ بحثيةٍ في المجال بعنوان: "Nanotechnology Research Grants Investigating Environmental and Human Health Effects of

Manufactured Nanomaterials: A Joint Research Solicitation - ".NIOSH ،EPA, NSF

- في حين قام في أغسطس 2005 فريق عمل تتشكل من خمسين عضواً وخبراء أجانب من مختلف المجالات تحت تنظيم مركز تكنولوجيا النانو المسؤولة، بدراسة التأثيرات الاجتماعية لتقنية النانو الجزيئية.

- وفي أكتوبر 2005، أعلنت مؤسسة العلوم القومية أنها ستقوم بتمويل مركزين قوميين لبحث التأثريات الاجتماعية المتوقعة لتقنية الصغائر. ويقع هاذان المركزان بجامعة كاليفورنيا، سانتا باربارا وجامعة ولاية أريزونا، ويقوم الباحثون بهما باستكشاف قطاعٍ عريضٍ من القضايا ومنها السياق التاريخي لتقنية الصغائر، وتقييم تلك التكنولوجيا، بالإضافة إلى قضايا الابتكار والعالمية وكذلك لاتصورات الاجتماعية للمخاطر.

- أصبح تقرير مجموعة من المسارات لتطوير وتنمية تقانة النانو الجزيئية هدفاً لمشروع خارطة طريق التقنية الواسع المجال بقيادة باتيلي والذي يمثل (مديراً للعديد من المعمل الأمريكية القومية). ومعهد فوسايت. ويجب أن تستكمل خارطة الطريق بحلول عام 2007.

- في حين نشر المجلس الدولي لتقانة الصغائر بجامعة رايس في أكتوبر 2006، استقصاءً عن ممارسات التعامل مع المواد النانوية والمستخدمة من قبل ورش العمل الصناعية والأكاديمية بأربعة قارات. وقد كشفت الدراسة الاستقصائية أن مزيداً من المعلومات ما زال ناقصاً بهدف الحماية ضد المخاطر المهنية المتوقعة والمصاحبة للتعامل مع تلك الجسيمات النانوية الحرة. كما يقوم المجلس الدولي للصغائر كذلك بنشر المجلة الافتراضية لبيئة تقانة الصغائر

والصحة والسلامة والتي تمثل مجموعةً من الاقتباسات للدراسات التي قام بها الأقران حول قضايا المخاطر المرتبطة بتقانة الصغائر.

- وفي 2007 أصدرت سبرينجر جريدة الأخلاقيات النانوية "أخلاقيات التكنولوجيا القائمة على تقانة النانو". ومثل المجلة منتدىً متعدد التخصصات والذي يهدف إلى استكشاف القضايا التي تُقدم وتغطي تطبيقات تقانة النانو. بينما يتمثل يتمحور تركيز المجلة على الفحص الدقيق فلسفياً وعلمياً للاعتبارات الأخلاقية والاجتماعية بالإضافة إلى مخاوف العامة والجهات السياسية الكامنة في أبحاث وتطوير تقانة النانو.
- إجراء اللجنة العلمية للمخاطر الصحية المتعارف عليها حديثاً التابعة لـ DG-SANCO لملخص تقنيات الصغائر لتقييم سلامة تقنيات الصغائر.

يُعد مركز تقانة الصغائر في المجتمع بجامعة ولاية أريزونا إحدى مراكز الأبحاث الممولة والتابعة لمؤسسة العلوم القومية الرئيسية والتي تركز على تحليل التطبيقات الاجتماعية لتقانة الصغائر.

أخطار النانوتكنولوجيا

بيد أن التداعيات الإيجابية، لا يجب أن تحجب عنا أسئلة أخرى قلقة وحادة مصاحبة لأي علم جديد، منها أن المجتمع الذي يتحكم بالمادة على المستوى الجزيئي والصغائري، يمكن أن يلتجئ إلى ابتكار أنظمة أكثر قوة من المخ البشري تتوفر بدورها على ذاكرة ووعي، فالمادة كما يتضح من الفيزياء النسبية (اينشتاين) لها بدورها ذاكرة قوية لا تنضب، بحيث يمكن أن تستيقظ تلقائيا عندما يحصل تفاعل ما على مستوى قواها العضوية. كل ذلك مهد لأن ينطلق الجدل على أشده بين أنصار النانوتكنولوجيا ومعارضيهم، منذ أن عمد إريك دريكسلر

إلى نشر كتابه آلات الخلق (Engines of Creation) "سنة 1986، بحيث عمد إلى تقديم صورة للمركبات النانوية القادرة على تحريك المادة على مستوى الجزيئات في سائر الاتجاهات، بحيث تخيل وجود آلات نانوية قادرة أن تعيد إنتاج نفسها بنفسها مستغنية عن التدخل الإنساني، بما يعني قدرتها على محاكاتها فعل الكائن الحي.. آنذاك تمحور النقاش كله على المادة السنجابية أو ما يعرف في الكيمياء بالهلام السنجابي (Gelée grise)، التي تعد مصدر خوف وتهويل كبيرين في التقانيات النانوية، بحيث يفترض فيها التهام القشرة الأرضية لكي تتمكن من التوالد، وهو ما يهدد مصير الجنس البشري برمته. بيد أن هذا النقاش ظل سريا ومحصورا في البداية في أروقة المختبرات وكواليس الخبراء وبين رهط قليل من السياسيين، حتى اجتمعت ثلاثة أحداث مختلفة دفعت به إلى الواجهة:

1. الحدث الأول أدبي في الأساس، عندما قام ميخائيل كريشتون بنشر روايته "الفريسة (Pry =Proie) "الشهيرة سنة 2002 في الولايات المتحدة الأمريكية، والتي تعرض لنا مجتمعا تمكن من صنع إنسان آلي نانوي يتم فقدان السيطرة عليه، وهذه الإنسية المهجنة ذات طبيعة مصنعة من طرف أنظمة مكونة من بكتيريا ومواد نانوية، مما يعني ميلاد تحالف غير طبيعي بين الأنظمة الحية والأنظمة التقنية. إذ تبدأ القصة مع تشكل جسيمات نانوية حية تتجمع بينها بطريقة ذاتية لكي تستوي في الأخير كائنا حيا يتغذى في النهاية بطبيعة الحال من المواد التي تشكل منها الإنسان ومحيطه الطبيعي، أي من ذرات المادة التي يتناولها أين يجدها، سواء كانت في المحيط البيئي أو موجودة في طاقم الجنس البشري الحي. وهنا سيصبح بني البشر فريسة ما صنعوه بأيديهم، مما ألزم معهد (Foresight Institute) العلمي، وهو معهد للتوقعات بستانفورد لدراسة سبل تحقق هذا الخطر من عدمه. إذ اعتبرت هذه الرواية إنذار سابق قبل أوانه، يعرفنا بالأخطار المحتملة التي قد تعصف بالإنسانية.

2. الحدث الثاني حدث سياسي بالدرجة الأولى، كشف عنه الأمير شارل ولي عهد التاج البريطاني عندما طلب في شهر أبريل سنة 2003 من العلماء البريطانيين البحث في "الأخطار الكبيرة التي تحيق بالطبيعة والمجتمع" من جراء استعمال التقنيات النانوية، لاسيما ما يعرف بمادة الهلام السنجابي. انذاك، أطلق الأمير شارل بتدخله العفاريت من قمقمها، حيث تضاربت الآراء واشتد الجدل والرد والرد المضاد من طرف رجال السياسة من جهة، ومن طرف العلماء والباحثين من جهة أخرى. إذ وصل الجدل إلى درجة عمدت على إثره الحكومة البريطانية التدخل رسميا وتكليف المجمع الملكي والأكاديمية الملكية للتكنولوجيا بتقديم تقرير يشمل تداعيات وآثار النانو تكنولوجيا سواء الإيجابية منها أو السلبية، تكلل بتقديم تقرير في يوليو 2004 تحت عنوان: "العلوم النانوية والتقانيات النانوية: فرص وشكوك بموازاة ذلك، قامت العديد من المبادرات الرسمية على المستوى الأوروبي، انتهت هي أيضا بتقديم ثلاثة تقارير مهمة، شملت خلاصات أبحاث عدة، الأول تم تقديمه من الإدارة العامة للصحة والاستهلاك باللجنة الأوروبية، وهو مذكرة بأهم الأخطار التي تم تدارسها في ورشة عمل جرت أعمالها في مارس (آذار) 2004 في بروكسيل. بينما تقدمت على المستوى المدني شبكة أوروبية تدعى: "منبر النانوية" بإصدار تقرير في يونيو 2004 يحمل عنوان: "الفائدة، الخطر والمظاهر الأخلاقية والاجتماعية للتقانيات النانوية". في حين يحاول آخر تقرير صيغ في الاتحاد الأوروبي تحت عنوان (Nanosciences et nanotechnologies: un plan pour l'Europe 2005-2009, juin 2004.) من قبل اللجنة في المجلس والبرلمان الأوروبي واللجنة الاقتصادية والاجتماعية وضع برنامج كامل يتناول آفاق تطوير البحوث النانوية في مختلف المجالات.

3. الحدث الثالث، صدر عن هيئات المجتمع المدني، بخاصة من مجموعة كندية مضادة للعولمة، تحمل اسم: "ETC Erosion, Technologies et Concentration"، نشرت تقريرا في يناير 2003 يحذر من تطبيقات النانوية التي تم إعادة تسميتها بـ "التقنيات الذرية"، حيث طالبت هذه الجمعية إرجاء استخدام واستهلاك المنتجات التي يتم تصنيعها عبر التقنيات النانوية، في انتظار تجميع معلومات كافية حول آثارها على المحيط البيئي وعلى الإنسان. غير أن ذلك كان بمثابة صيحة في واد، ما حذا بأعضاء المجموعة نشر تقرير جديد تقشعر منه الأبدان، أطلق عليه: "الانهيار الكبير (The Big Down)"، وهو منشور على الموقع (ETC Group - Home)، تم عرض فيه حالة جسيمات نانوية تسعى للتسرب إلى صلب المادة الحية والتماهي معها، ثم حذرت من تداعياتها الملوثة لها وتراكمها في العضوية الحية.وإذا كان هذا العلم بدأ يثير كثيرا من الاهتمام في المجتمعات الغربية، يبقى أنه غائب كليا في العالم العربي والإسلامي، بينما إذا أردنا الإشارة إلى الدول التي تنهج سياسة بحثية متقدمة في هذا المجال، فيمكن إجمالا الإشارة إلى البلدان التالية: الصين، الولايات المتحدة الأمريكية، اليابان وفرنسا، ألمانيا وإسرائيل التي استطاع بها فريق البحث في معهد (Technion) بحيفا مؤخرا، إجراء أول محاولة ناجحة للدمج بين عناصر بيولوجية وعناصر إلكترونية في قوارير اختبارية على مستوى نانوي.

انتقادات وردود

تحصل دوما عند كل تطور علمي أو تقني انتقادات وتنتشر المخاوف. كما حصل في الثورة الصناعية الأولى وعند اختراع الكمبيوتر وظهور الهندسة الوراثية

وغيرها. تتركز الانتقادات هنا على عنصرين: الأول هو أن النانو جزيئات صغيره جدًا إلى الحد الذي يمكنها من التسلل وراء جهاز المناعة في الجسم البشري، وبإمكانها أيضًا أن تنسل من خلال غشاء خلايا الجلد والرئة، وما هو أكثر إثارة للقلق أن بإمكانها أن تتخطى حاجز دم الدماغ!. في سنة 1997م أظهرت دراسة في جامعة أكسفورد أن نانو جزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم الموجودة في المراهم المضادة للشمس أصابت الحمض النووي DNA للجلد بالضرر. كما أظهرت دراسة في شهر مارس الماضي من مركز جونسون للفضاء والتابع لناسا أن نانو أنابيب الكربون هي أكثر ضررًا من غبار الكوارتز الذي يسبب السيليكوسيس وهو مرض مميت يحصل في أماكن العمل. الثاني من المخاوف هي أن يصبح النانو بوت ذاتي التكاثر، أي: يشبه التكاثر الموجود في الحياة الطبيعية فيمكنه أن يتكاثر بلا حدود ويسيطر على كل شيء في الكره الأرضية. وقد بدأت منظمات البيئة والصحة العالمية تنظم المؤتمرات لبحث هذه المخاطر بالذات. وعقد اجتماع في بروكسل في شهر يونيو من عام 2008 برئاسة الأمير تشارلز، وهو أول اجتماعٍ عالميّ ينظم لهذا الهدف، كما أصدرت منظمة غرين بيس مؤخرًا بيانا تشير فيه إلى أنها لن تدعو إلى حظر على أبحاث النانو. ومهما كان، فالإنسان على أبواب مرحلةٍ جديدةٍ تختلف نوعياً من جميع النواحي عما سبقها جديدة بايجابياتها وكبيرة بسلبياتها وكما يقول معظم العلماء: "لا يمكن لأي كان الوقوف في وجه هذا التطور الكبير، فلنحاول تقليص السلبيات".

❖ النانو غدا

- مواد نانو: انابيب كاربونية نانو، مواد خفيفة يمكن ان تحدث ثورة في تصميم السيارات بسبب قوتها وقدرتها على توصيل الكهرباء والحرارة.

- نانو روبوت: المرحلة المقبلة في عمليات التصغير يمكن ان تؤدي إلى تصنيع محركات أو روبوتات ميكروسكوبية للمساعدة في دراسة الخلايا والنظم البيولوجية، بالإضافة إلى الألياف.

- عربات ميكرو: عربات متناهية في الصغر يمكن تطويرها لأبحاث الفضاء العميق، والمدارات والمناخ أو استكشاف الأسطح المتحركة.

- مجسات نانو: مجسات متناهية في الصغر ولاسلكية وسريعة وفي غاية الحساسية، يمكن وضعها مع المجسات الالكترونية والكيميائية أو البصرية لاستخدامها في المهام العلمية، ولاسيما في التحليل الفوري وعمليات الروبوت.

- يمكن إدماج تقنية النانو في شبكات بشرية مثل أجهزة الرعاية وشبكات المراقبة البيئية.

- إدارة الأوضاع الصحية لرواد الفضاء: يمكن لرواد الفضاء في رحلات طويلة استخدام تقنية النانو لمواجهة الأوضاع المناخية ذات الاشعاعات المرتفعة وتصنيع أجهزة رقابة طبية ومعدات للعلاج، والمساعدة في خفض أو التغلب على الضغوط والتوتر الناشئ عن رحلات الفضاء الطويلة. ويمكن تحقيق ذلك عن طريقتين. الاولى هي تصنيع المواد النانو التي يمكن استخدامها للتغلب على اختراق الأشعة الكونية للسفن. والطريقة الأخرى هي المجسات النانو لتحديد مستويات الأشعة.

- أوضح سكوت مايز رئيس معهد فورسايت في بالو التو بولاية كاليفورنيا «اعتقد انه على المدى القصير سنشاهد زيادة تدريجية في التقدم». وتجدر الإشارة إلى ان هذا المعهد هيئة لا تسعى للربح هدفه تعليم الرأي العام بخصوص نتائج التقدم في تقنيات النانو. واضاف مايز لا تتوقعوا قفزات هائلة

في تقنية النانو في الوقت الـراهن، بـل زيـادات تدريجيـة- الـتي بـدأت تظهـر بالفعل في مجالات الجسات، بل والمنتجات التجارية من مستحضرات التجميل إلى المعدات الرياضية. وذكر ان معهد فورسـايت يفحـص في الوقـت الـراهن كيف يمكن لتقنية النانو مواجهة مجموعة من التحـديات الـتي تواجـه البشـرية اليوم. ومن بين قائمة أهم 10 موضـوعات بالإضـافة إلى مواجهـة الأمـراض المعدية وعلاج السرطان، وتوفير المياه النظيفة للجميع- هـي تـوفير رحـلات فضائية رخيصة للفضاء. وقال انه من الصـعب القـول ان تطبيقـا معينـا أكثـر أهمية من التطبيقات الأخرى.

أحلام أنابيب النانو

- واحد من الأفكار العظيمة لتطبيق تقنية النانو هو المصعد الفضائي. تخيل كابل مرتبط بالأرض على منصة عائمـة في خـط الاسـتواء، وفي الناحيـة الأخـرى معلقة في الفضاء فيما بعد المدار. ويستخدم المصعد الفضائي مصاعد كهربائية تتحرك على الكابـل لوضـع صـواريخ ومحطـات فضـائية ومعـدات في مـدار الأرض.

وستتيح أنابيب النانو للمهندسين بناء مصاعد فضائية والتحرك بسـرعة في الفضاء. ويمكن لنفس المادة خفض كلفة نقل المعدات عبر المصاعد وتخفيف وزن الاقمار التي تعمل بالطاقة الشمسية ومحطات الفضاء.

المصادر



المصادر

1. Petty,M.C .Bryce, M.R & .Bloor, D. (1995 .(*Introduction to Molecular Electronics* .New York: Oxford University Press. pp. 1–25 .ISBN 0195211561.
2. Tour, James M ؛.*et al* .(1998) .Recent advances in molecular scale electronics ."*Annals of the New York Academy of Sciences* .204–197 :852
3. Gimzewski, J.K.; Joachim, C. (1999). "Nanoscale science of single molecules using local probes ."*Science* :(5408) 283 .1688–1683
4. Sørensen, J.K« .(2006) ..Synthesis of new components, functionalized with(60) fullerene, for molecular electronics". 4th Annual meeting - CONT ،2006 University of Copenhagen.
5. Organic Semiconductor (I/O), 1973 a melanin (polyacetylenes) bistable switch .National Museum of American History.
6. György Inzelt (2008 .(*Conducting Polymers: A New Era in Electrochemistry* .Springer. pp. 265–269 .doi:10–978 /1007. .8_0–75930–540–3ISBN 978.0–75930–540–3–
7. Herbert Naarmann "Polymers, Electrically Conducting" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2002 Wiley-VCH, Weinheim .
8. Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology; Nalwa, H.S., Ed ؛.Academic Press: New York, NY, USA, 2000; Volume 5, pp. 501–575.

9. Skotheim ،T., Elsenbaumer, R., Reynolds, J., Eds.; Handbook of Conducting Polymers, 2nd ed.; Marcel Dekker, Inc.: New York, NY, USA, 1998
10. Loo, C; Lin, A; Hirsch, L; Lee, Mh; Barton, J; Halas, N; West, J; Drezek, R (Feb 2004".(Nanoshell-enabled photonics-based imaging and therapy of cancer) "Free full text .(*Technology in cancer research & treatment* .40–33 :(1) 3 PMID 14750891.
11. Brinson ،Be; Lassiter, Jb; Levin, Cs; Bardhan, R; Mirin, N; Halas, Nj (Nov".(2008 Nanoshells Made Easy: Improving Au Layer Growth on Nanoparticle Surfaces ."*Langmuir* :24 .14166
12. Choi ،Mr; Stanton-Maxey, Kj; Stanley, Jk; Levin, Cs; Bardhan, R; Akin, D ؛Badve, S; Sturgis, J; Robinson, Jp; Bashir, R; Halas, Nj; Clare, Se (Dec".(2007 A cellular Trojan Horse for delivery of therapeutic nanoparticles into tumors ." *Nano letters*..65–3759 :(12) 7
13. Le ،F; Brandl, Dw; Urzhumov, Ya; Wang, H; Kundu, J; Halas, Nj; Aizpurua, J ؛Nordlander, P (Apr 2008). "Metallic nanoparticle arrays: a common substrate for both surface-enhanced Raman scattering and surface-enhanced infrared absorption ."*ACS nano* .18–707 :(4) 2 doi:10/1021.nn800047e .PMID 19206602.
14. Foster LE. (2006). "Medical Nanotechnology: Science, Innovation, and Opportunity ."*Upper Saddle River: Pearson Education ISBN 0131927566*..
15. Freitas Jr RA. (1999). "Nanomedicine, Volume 1: Basic Capabilities ."*Austin: Landes Bioscience ISBN 1570596808*..

16. Ratner MA, Ratner D, Ratner M. (2003). "Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea ."*Upper Saddle River: Prentice Hall ISBN 0131014005..*
17. Cavalcanti A, Shirinzadeh B, Freitas RA Jr., Kretly LC. (2007). "Medical Nanorobot Architecture Based on Nanobioelectronics ."*Recent Patents on Nanotechnology* 1 . .10–1 :(1)
18. Vaughn JR. (12 2006). "Over the Horizon: Potential Impact of Emerging Trends in Information and Communication Technology on Disability Policy and Practice ."*National Council on Disability ،Washington DC*.55–1 :.
19. Poncharal P, Wang ZL, Ugarte D, de Heer WA. (1999). "Electrostatic Deflections and Electromechanical Resonances of Carbon Nanotubes ."*Science*.1516–1513 :283 .
20. Modi A, Koratkar N, Lass E, Wei B, Ajayan PM. (2003). "Miniaturized Gas Ionization Sensors using Carbon Nanotubes ."*Nature*.174–171 :424 .
21. Kong J, Franklin NR, Zhou C, Chapline MG, Peng S, Cho K, Dai H. (2000). "Nanotubes Molecular Wires as Chemical Sensors ."*Science*.625–622 :(5453) 287 .
22. J.M. Tarascon, G.W. Hull and F.J. Di Salvo (1984 .(*Mater. Res. Bull*.915 :19 .
23. D. Vrbanic *et al* .(2004) .Air-stable monodispersed $Mo_6S_3I_6$ nanowires ."*Nanotechnology* .638–635 :15
24. C. Perrin and M. Sergent (1983 .(*J. Chem. Res*.39–38 :5 .
25. D .Mihailovic (2009). "Inorganic molecular wires: Physical and functional properties of transition metal chalco-halide polymers ."*Progress in Materials Science* .350–309 :54

26. F. Albert Cotton, Carlos A. Murillo and Richard A. Walton (2005 .(*Multiple Bonds Between Metal Atoms* 3) ed.). Springer. pp. 669–706.
27. Conductive Polymer / Solvent Systems: Solutions or Dispersions ؛Bernhard Wessling, 1996
28. Wang, X.; Li, Q.; Xie, J.; Jin, Z.; Wang, J.; Li, Y.; Jiang, K.; Fan, S. (2009). "Fabrication of Ultralong and Electrically Uniform Single-Walled Carbon Nanotubes on Clean Substrates". Nano Letters 9 (9): 3137–3141.
29. Mintmire, J.W.; Dunlap, BI; White, CT (3 February 1992). "Are Fullerene Tubules Metallic?". Physical Review Letters 68 (5): 631–634.
30. Martel, R.; Derycke, V.; Lavoie, C.; Appenzeller, J.; Chan, K. K.; Tersoff, J.; Avouris, Ph. (2001). "Ambipolar Electrical Transport in Semiconducting Single-Wall Carbon Nanotubes". Physical Review Letters 87: 256805.
31. Flahaut, E.; Bacsa, R; Peigney, A; Laurent, C (2003). "Gram-Scale CCVD Synthesis of Double-Walled Carbon Nanotubes". Chemical Communications 12.(12): 1442–1443.
32. Liu, Lei; Guo, G. Y.; Jayanthi, C. S.; Wu, S. Y. (2002). "Colossal Paramagnetic Moments in Metallic Carbon Nanotori". Physical Review Letters 88: 217206.
33. Huhtala, Maria (2002). "Carbon nanotube structures: molecular dynamics simulation at realistic limit" (PDF). Computer Physics Communications 146: 30.
34. Liu, Q; Ren, W; Chen, Z; Yin, L; Li, F; Cong, H; Cheng, H (2009). "Semiconducting properties of cup-stacked carbon nanotubes". Carbon 47: 731.

35. A Better Way to Make Nanotubes. Berkeley Lab.
36. Carbon Nanohoops: Shortest Segment of a Carbon Nanotube Synthesized. Berkeley Lab..
37. "Synthetic organic chemistry". A centre of chemistry excellence. Nature. 72009 ،.
38. Zhao, X.; Liu, Y.; Inoue, S.; Suzuki, T.; Jones, R. O.; Andol, Y. (2004). "Smallest Carbon Nanotube is 3 Å in Diameter". Physical Review Letters 92 (12): 125502.
39. Hayashi, Takuya; Kim, Yoong Ahm; Matoba, Toshiharu; Esaka, Masaya; Nishimura, Kunio; Tsukada, Takayuki; Endo, Morinobu; Dresselhaus, Mildred S. (2003). "Smallest Freestanding Single-Walled Carbon Nanotube". Nano Letters 3 (7): 887–889.
40. Guan, Lunhui; Suenaga, Kazu; Iijima, Sumio (2008). "Smallest Carbon Nanotube Assigned with Atomic Resolution Accuracy". Nano Letters 8 (2): 459–462.
41. Yu, Min-Feng; Lourie, Oleg; Dyer, Mark J.; Moloni, Katerina; Kelly, Thomas F.; Ruoff, Rodney S. (28 January 2000). "Strength and Breaking Mechanism of Multiwalled Carbon Nanotubes Under Tensile Load". Science 287 (5453): 637–640. Collins, Philip G. (2000). "Nanotubes for Electronics" (PDF). Scientific American: 67–69.
42. Jensen, W. Mickelson, A. Kis, and A. Zettl. Buckling and kinking force measurements on individual multiwalled carbon nanotubes. Phys. Rev. B 76, 195436 (2007)
43. Belluci, S. (19 January 2005). "Carbon nanotubes: physics and applications". Physica Status Solidi (c) 2 (1): 34–47.

44. Chae, Han Gi; Kumar, Satish (26 January 2006). "Rigid Rod Polymeric Fibers". Journal of Applied Polymer Science 100 (1): 791–802.
45. Meo, Michele; Rossi, Marco (3 February 2006). "Prediction of Young's modulus of single wall carbon nanotubes by molecular-mechanics based finite element modelling". Composites Science and Technology 66 (11–12): 1597–1605.
46. Sinnott, Susan B.; Andrews, Rodney (2001). "Carbon Nanotubes: Synthesis, Properties, and Applications". Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences 26 (3): 145–249.
47. Demczyk, B.G.; Wang, Y.M.; Cumings, J.; Hetman, M.; Han, W.; Zettl, A.; Ritchie, R.O. (13 June 2002). "Direct mechanical measurement of the tensile strength and elastic modulus of multiwalled carbon nanotubes". Materials Science and Engineering A 334 (1–2): 173–178.
48. Australian Stainless Steel Development Association (ASSDA) - Properties of Stainless Steel
49. Stainless Steel - 17-7PH (Fe/Cr17/Ni 7) Material Information
50. H. D. Wagner (2002). "Reinforcement". Encyclopedia of Polymer Science and Technology. John Wiley & Sons.
51. R. S. Ruoff, et al., "Radial deformation of carbon nanotubes by van der Waals forces" Nature 364, 514 (1993)
52. Palaci, et al. "Radial Elasticity of Multiwalled Carbon Nanotubes" Phys. Rev. Lett. 94, 175502 (2005)
53. M.-F. Yu, et al. "Investigation of the Radial Deformability of Individual Carbon Nanotubes under Controlled Indentation Force" Phys. Rev. Lett. 85, 1456-1459 (2000)

54. M. Popov et al. (2002). "Superhard phase composed of single-wall carbon nanotubes" (free download PDF). Phys. Rev. B 65: 033408.
55. Physicists build world's smallest motor using nanotubes and etched silicon
56. Lu, X.; Chen, Z. (2005). "Curved Pi-Conjugation, Aromaticity, and the Related Chemistry of Small Fullerenes (<C60) and Single-Walled Carbon Nanotubes". Chemical Reviews 105 (10): 3643–3696.
57. Hong, Seunghun; Myung, S (2007). "Nanotube Electronics: A flexible approach to mobility". Nature Nanotechnology 2 (4): 207–208.
58. J. Haruyama et al. (2006). "Superconductivity in Entirely End-Bonded Multiwalled Carbon Nanotubes" (free download PDF). Physical Review Letters 96: 057001.
59. J. A. Misewich et al. (2003). "Electrically Induced Optical Emission from a Carbon Nanotube FET". Science 300 (5620): 783–786.
60. J. Chen et al. (2005). "Bright Infrared Emission from Electrically Induced Excitons in Carbon Nanotubes". Science 310 (5751): 1171–1174.
61. M. Freitag et al. (2003). "Photoconductivity of Single Carbon Nanotubes". Nano Letters 3 (8): 1067–1071.
62. Pop, Eric et al.; Mann, David; Wang, Qian; Goodson, Kenneth; Dai, Hongjie (2005-12-22). "Thermal conductance of an individual single-wall carbon nanotube above room temperature". Nano Letters 6 (1): 96–100.

63. Sinha, Saion et al.; Barjami, Saimir; Iannacchione, Germano; Schwab, Alexander; Muench, George (2005-06-05). "Off-axis thermal properties of carbon nanotube films". Journal of Nanoparticle Research 7 (6): 651–657.
64. Thostenson, Erik; Li, C; Chou, T (2005). "Nanocomposites in context". Composites Science and Technology 65: 491–516.
65. Carbon Based Magnetism: An Overview of the Magnetism of Metal Free Carbon-based Compounds and Materials, edited by Tatiana Makarova and Fernando Palacio (Elsevier 2006)
66. Mingo, N.; Stewart, D. A.; Broido, D. A.; Srivastava, D. (2008). "Phonon transmission through defects in carbon nanotubes from first principles". Physical Review B 77: 033418.
67. Kolosnjaj J, Szwarc H, Moussa F (2007). "Toxicity studies of carbon nanotubes". Adv Exp Med Biol. 620: 181–204.
68. Porter, Alexandra; Gass, Mhairi; Muller, Karin; Skepper, Jeremy N.; Midgley, Paul A.; Welland, Mark (2007). "Direct imaging of single-walled carbon nanotubes in cells". Nature Nanotechnology 2 (11): 713.
69. Zumwalde, Ralph and Laura Hodson (March 2009). "Approaches to Safe Nanotechnology: Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials". National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH (DHHS) Publication 2009-125.
70. Lam CW, James JT, McCluskey R, Arepalli S, Hunter RL (2006). "A review of carbon nanotube toxicity and assessment of potential occupational and environmental health risks". Crit Rev Toxicol. 36 (3): 189–217.

71. Poland, CA; Duffin, Rodger; Kinloch, Ian; مايلnard, Andrew; Wallace, William A. H.; Seaton, Anthony; Stone, Vicki; Brown, Simon et al. (2008). "Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study.". Nature Nanotechnology 3 (7): 423.
72. Carbon Nanotubes That Look Like Asbestos, Behave Like Asbestos
73. Iijima, Sumio (1991). "Helical microtubules of graphitic carbon". Nature 354: 56–58.
74. Ebbesen, T. W.; Ajayan, P. M. (1992). "Large-scale synthesis of carbon nanotubes". Nature 358: 220–222.
75. Guo, Ting; Nikolaev, Pavel; Rinzler, Andrew G.; Tomanek, David; Colbert, Daniel T.; Smalley, Richard E. (1995). "Self-Assembly of Tubular Fullerenes". J. Phys. Chem. 99: 10694–10697.
76. Guo, Ting; Nikolaev, P; Thess, A; Colbert, D; Smalley, R (1995). "Catalytic growth of single-walled nanotubes by laser vaporization" (PDF). Chem. Phys. Lett. 243: 49–54.
77. Walker Jr., P. L.; Rakszawski, J. F.; Imperial, G. R. (1959). "Carbon Formation from Carbon Monoxide-Hydrogen Mixtures over Iron Catalysts. I. Properties of Carbon Formed". J. Phys. Chem. 63: 133.
78. José-Yacamán, M.; Miki-Yoshida, M.; Rendón, L.; Santiesteban, J. G. (1993). "Catalytic growth of carbon microtubules with fullerene structure". Appl. Phys. Lett. 62: 657.

79. Beckman ،Wendy ،"UC Researchers Shatter World Records with Length of Carbon Nanotube Arrays" ،University of Cincinnati2007 ،-04-27.
80. N. Inami et al. "Synthesis-condition dependence of carbon nanotube growth by alcohol catalytic chemical vapor deposition method" Sci. Technol. Adv. Mater. 8 (2007) 292 free download
81. N. Ishigami; Ago, H; Imamoto, K; Tsuji, M; Iakoubovskii, K; Minami, N (2008). "Crystal Plane Dependent Growth of Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes on Sapphire". J. Am. Chem. Soc. 130 (30): 9918–9924.
82. JL Pinilla. "Production of hydrogen and carbon nanofibers by thermal decomposition of methane using metal catalysts in a fluidized bed reactor"
83. N Muradov. "Hydrogen via methane decomposition: an application for decarbonization of fossil fuels". PII: S0360-3199(01)00073-8. International Journal of Hydrogen Energy 26, 1165, 2001.
84. Eftekhari, A.; Jafarkhani, P; Moztarzadeh, F (2006). "High-yield synthesis of carbon nanotubes using a water-soluble catalyst support in catalytic chemical vapor deposition". Carbon 44: 1343.
85. Ren, Z. F.; Huang, ZP; Xu, JW; Wang, JH; Bush, P; Siegal, MP; Provencio, PN (1998). "Synthesis of Large Arrays of Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass". Science 282 (5391): 1105.

86. SEM images & TEM images of carbon nanotubes, aligned carbon nanotube arrays, and nanoparticles
87. "Carbon Nanotubes from Camphor: An Environment-Friendly Nanotechnology" (free download PDF). Journal of Physics: Conference Series 61: 643. 2007.
88. Boyd ،Jade ،"Rice chemists create, grow nanotube seeds" ، Rice University2006 ،-11-17.
89. K. Hata et al. (2004). "Water-Assisted Highly Efficient Synthesis of Impurity-Free Single-Walled Carbon Nanotubes". Science 306 (5700): 1362–1365.
90. K. Hata et al. (2005). "Kinetics of Water-Assisted Single-Walled Carbon Nanotube Synthesis Revealed by a Time-Evolution Analysis". Physical Review Letters 95: 056104.
91. K. Hata, Sumio Iijima et al. (2009). "Compact and light supercapacitors from a surface-only solid by opened carbon nanotubes with 2,200 m2/g". Advanced Functional Materials 20: 422–428.
92. Characteristic of Carbon nanotubes by super-growth method (japanese).
93. K.Hata. From Highly Efficient Impurity-Free CNT Synthesis to DWNT forests, CNTsolids and Super-Capacitors.
94. Takeo Yamada et al. (2006). "Size-selective growth of double-walled carbon nanotube forests from engineered iron catalysts". Nature Nanotechnology 1 (2): 131–136.
95. Don N. Futaba , Kenji Hata et al. (2006). "Shape-engineerable and highly densely packed single-walled carbon nanotubes and their application as super-capacitor electrodes". Nature Materials 5 (12): 987–994.

96. Singer, J.M. (1959). "Carbon formation in very rich hydrocarbon-air flames. I. Studies of chemical content, temperature, ionization and particulate matter". Seventh Symposium (International) on Combustion.
97. Yuan, Liming (2001). "Nanotubes from methane flames". Chemical physics letters 340: 237–241.
98. Yuan, Liming (2001). "Ethylene flame synthesis of well-aligned multi-walled carbon nanotubes". Chemical physics letters 346: 23–28.
99. Duan, H. M.; McKinnon, J. T. (1994). "Nanoclusters Produced in Flames". Journal of Physical Chemistry 98: 12815–12818.
100. Murr, L. E.; Bang, J.J.; Esquivel, E.V.; Guerrero, P.A.; Lopez, D.A. (2004). "Carbon nanotubes, nanocrystal forms, and complex nanoparticle aggregates in common fuel-gas combustion sources and the ambient air". Journal of Nanoparticle Research 6: 241–251.
101. Vander Wal, R.L. (2002). "Fe-catalyzed single-walled carbon nanotube synthesis within a flame environment". Combust. Flame 130: 37–47.
102. Saveliev, A.V. (2003). "Metal catalyzed synthesis of carbon nanostructures in an opposed flow methane oxygen flame". Combust. Flame 135: 27–33.
103. Height, M.J. (2004). "Flame synthesis of single-walled carbon nanotubes". Carbon 42: 2295–2307.
104. Sen, S.; Puri, Ishwar K (2004). "Flame synthesis of carbon nanofibers and nanofibers composites containing encapsulated metal particles". Nanotechnology 15: 264–268.

105. Arnold, Michael S.; Green, Alexander A.; Hulvat, James F.; Stupp, Samuel I.; Hersam, Mark C. (2006). "Sorting carbon nanotubes by electronic structure using density differentiation". Nature Nanotechnology 1 (1): 60.
106. Takeshi Tanaka et al. (2009). "Simple and Scalable Gel-Based Separation of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes". Nano Letters 9 (4): 1497–1500.
107. T.Tanaka. New, Simple Method for Separation of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes.
108. Takeshi Tanaka et al. (2009). "Continuous Separation of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes Using Agarose Gel". Applied Physics Express 2: 125002.
109. Huang, X et al. (2005). "High-Resolution Length Sorting and Purification of DNA-Wrapped Carbon Nanotubes by Size-Exclusion Chromatography". Anal. Chem. 77 (19): 6225–6228.
110. Mark C Hersam (2008). "Progress towards monodisperse single-walled carbon nanotubes". Nature Nanotechnology 3 (7): 387–394.
111. Zheng, M et al. (2003). "Structure-Based Carbon Nanotube Sorting by Sequence-Dependent DNA Assembly". Science 302 (5650): 1545–1548.
112. Tu, Helen et al. (2009). "DNA sequence motifs for structure-specific recognition and separation of carbon nanotubes". Nature 460 (7252): 250–253.
113. Zhang, L et al. (2009). "Optical characterizations and electronic devices of nearly pure (10,5) single-walled carbon nanotubes.". J Am Chem Soc 131 (7): 2454–2455.

114. Ding, Lei; Tselev, Alexander; Wang, Jinyong; Yuan, Dongning; Chu, Haibin; McNicholas, Thomas P.; Li, Yan; Liu, Jie (2009). "Selective Growth of Well-Aligned Semiconducting Single-Walled Carbon Nanotubes". Nano Letters 9 (2): 800.
115. M.A. Mohamed; Ambri Mohamed, Mohd; Shikoh, Eiji; Fujiwara, Akihiko (2007). "Fabrication of spintronics device by direct synthesis of single-walled carbon nanotubes from ferromagnetic electrodes" (free download pdf). Sci. Technol. Adv. Mater. 8: 292.
116. L Chico et al. Phys Rev Lett 76, 971 (1996)
117. K. Sanderson (2006). "Sharpest cut from nanotube sword". Nature 444: 286.
118. Reibold, M.; Paufler, P; Levin, AA; Kochmann, W; Pätzke, N; Meyer, DC (November 16, 2006). "Materials:Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre". Nature 444 (7117): 286.
119. Edwards,Brad C. (2003). The Space Elevator. BC Edwards. ISBN 0974651710.
120. Zhang, Mei; Fang, S; Zakhidov, AA; Lee, SB; Aliev, AE; Williams, CD; Atkinson, KR; Baughman, RH (2005). "Strong, Transparent, Multifunctional, Carbon Nanotube Sheets". Science 309 (5738): 1215–1219.
121. Dalton, Alan B.; Su, Tian; Horng, Tiffany; Chow, Amy; Akira, Shizuo; Medzhitov, Ruslan (2003). "Super-tough carbon-nanotube fibres". Nature 423 (4): 703.

122. Postma, Henk W. Ch.; Teepen, T; Yao, Z; Grifoni, M; Dekker, C (2001). "Carbon Nanotube Single-Electron Transistors at Room temperature". Science 293 (5527): 76.
123. Collins, Philip G.; Arnold, MS; Avouris, P (2001). "Engineering Carbon Nanotubes and Nanotube Circuits Using Electrical Breakdown". Science 292 (5517): 706–709.
124. Javey, Ali; Guo, J; Wang, Q; Lundstrom, M; Dai, H (2003). "Ballistic Carbon Nanotube Transistors". Nature 424 (6949): 654–657.
125. Javey, Ali; Guo, J; Farmer, D; Wang, Q; Yenilmez, E; Gordon, R; Lundstrom, M; Dai, H (2004). "Self-aligned ballistic molecular transistors and electrically parallel nanotube arrays". Nano Letters 4: 1319–1322.
126. Tseng, Yu-Chih; Xuan, Peiqi; Javey, Ali; Malloy, Ryan; Wang, Qian; Bokor, Jeffrey; Dai, Hongjie (2004). "Monolithic Integration of Carbon Nanotube Devices with Silicon MOS Technology". Nano Letters 4: 123–127.
127. Gabriel, Jean-Christophe P. (2003). "Large Scale Production of Carbon Nanotube Transistors: A Generic Platforms for Chemical Sensors". Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 762: Q.12.7.1.
128. Nanōmix - Breakthrough Detection Solutions with the Nanoelectronic Sensation Technology
129. Gabriel, Jean-Christophe P.. "Dispersed Growth Of Nanotubes on a substrate". Patent WO 2004040671A2.
130. Bradley, Keith; Gabriel, Jean-Christophe P.; Grüner, George (2003). "Flexible nanotube transistors". Nano Letters 3: 1353–1355.

131. Armitage, Peter N.. "Flexible nanostructure electronic devices". United States Patent 20050184641 A1.
132. K. Kordas; Tóth, G.; Moilanen, P.; Kumpumäki, M.; Vähäkangas, J.; Uusimäki, A.; Vajtai, R.; Ajayan, P. M. (2007). "Chip cooling with integrated carbon nanotube microfin architectures". Appl. Phys. Lett. 90: 123105.
133. "Beyond Batteries: Storing Power in a Sheet of Paper" ، Eurekalert.org15-09-2008 ،13 ،.
134. "New Flexible Plastic Solar Panels Are Inexpensive And Easy To Make" ،ScienceDaily2007 ،.
135. MIT LEES on Batteries. MIT press release, 2006.
136. Haddon, Robert C.; Laura P. Zanello, Bin Zhao, Hui Hu (16). "Bone Cell Proliferation on Carbon Nanotubes". Nano Letters 6 (3): 562–567..
137. Nanotubes May Heal Broken Bones
138. Simmons, Trevor; Hashim, D; Vajtai, R; Ajayan, PM (2007). "Large Area-Aligned Arrays from Direct Deposition of Single-Wall Carbon Nanotubes". J. Am. Chem. Soc. 129 (33): 10088–10089.
139. Hot nanotube sheets produce music on demand, New Scientists News, 31 October 2008
140. Yildirim, T.; Gülseren, O.; Kılıç, Ç.; Ciraci, S. (2000). "Pressure-induced interlinking of carbon nanotubes". Physical Review B 62: 19.
141. Nanotechnology and MRI contrast enhancement, Future Medicinal Chemistry March 2010, Vol. 2, No. 3, Pages 491-502

142. Chemical & Engineering News, 9 February 2009, "Nanotube Catalysts", p. 7

143. Monthioux, Marc; Kuznetsov, V (2006). "Who should be given the credit for the discovery of carbon nanotubes" (PDF). Carbon 44: 1621. doi:10.1016/j.carbon.2006.03.019.

144. Радушкевич, Л. В. (1952). "О Структуре Углерода, Образующегося При Термическом Разложении Окиси Углерода На Железном Контакте" (in Russian) (PDF). Журнал Физической Химии 26: 88–95.(dead link)

145. Oberlin, A. (1976). "Filamentous growth of carbon through benzene decomposition". Journal of Crystal Growth 32: 335–349.

146. Endo ،Morinobu (262002 ،). Carbon Fibers and Carbon Nanotubes (Interview, Nagano, Japan). (PDF)

147. Abrahamson, John; Wiles, Peter G.; Rhoades, Brian L. (1999). "Structure of Carbon Fibers Found on Carbon Arc Anodes". Carbon 37: 1873.

148. Izvestiya Akademii Nauk SSSR, Metals. 1982, #3, pp.12–17 (in Russian)

149. Iijima, Sumio (7 November 1991). "Helical microtubules of graphitic carbon". Nature 354: 56–58.

150. Mintmire, J.W.; Dunlap, BI; White, CT (1992). "Are Fullerene Tubules Metallic?". Physical Review Letters 68 (5): 631–634.

151. Bethune, D. S.; Klang, C. H.; De Vries, M. S.; Gorman, G.; Savoy, R.; Vazquez, J.; Beyers, R. (1993). "Cobalt-catalyzed growth of carbon nanotubes with single-atomic-layer walls". Nature 363: 605–607.

152. Iijima, Sumio; Ichihashi, Toshinari (1993). "Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter". Nature 363: 603–605.
153. The Discovery of Single-Wall Carbon Nanotubes at IBM. IBM.
154. Krätschmer, W.; Lamb, Lowell D.; Fostiropoulos, K.; Huffman, Donald R. (1990). "Solid C60: a new form of carbon". Nature 347: 354–358.
155. Kroto, H. W.; Heath, J. R.; O'Brien, S. C.; Curl, R. F.; Smalley, R. E. (1985). "C60: Buckminsterfullerene". Nature 318: 162–163.



السيرة العلمية للمؤلف

الاسم : الدكتور محمد مزهر راضي

اللقب : استاذ مساعد

الموقع : تدريسي في كلية التقنيات الصحية والطبية-بغداد

الخبرة : تدريسي في وزارة التعليم العالي والبحث العلمي منذ 1986

النشاطات العلمية

1. نشر اكثر من 30 بحث في مجلات عالمية رصينة
2. براءة اختراع عالمية وثلاثة براءات عراقية
3. تأليف اربع كتب باختصاص النانوتكنولوجي
4. عضو في الجمعية العراقية للنانوتكنولوجي
5. عضو في المنظمة العالمية الايسسكو ISESCO






عمان - شارع الملك حسين - مجمع الفحيص التجاري
تلفاكس: ٠٠٩٦٢٦٤٦٤٧٥٥٠ خلوي: ٠٠٩٦٢٧٩٥٣٦٥٣٦٧
ص.ب: ٧١٢٧٧٣ عمان ١١١٧١ - الأردن
E-mail: dardjlah@yahoo.com
www.dardjlah.com